

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜLEYMANİYE CAMİİ'NİN YEREL ZEMİN KOŞULARINA BAĞLI DEPREM
PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

AYHAN ASLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. ABDURRAHMAN ŞAHİN

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜLEYMANİYE CAMİİ'NİN YEREL ZEMİN KOŞULARINA BAĞLI DEPREM
PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ayhan ASLAN tarafından hazırlanan tez çalışması 28.04.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç Dr. Abdurrahman ŞAHİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Abdurrahman ŞAHİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Nuri ÖZHENDEKİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Kasım Armağan KORKMAZ
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Her zaman bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Abdurrahman ŞAHİN'e, ihtiyacım olan rölöveleri sağlayan ve tezimde kullanmam için izin veren İstanbul Vakıflar Bölge Müdürlüğüne, hayatım boyunca bana her türlü yardım ve desteği hiç bir şey esirgemediği için babam Binali ASLAN, annem Hikmet ASLAN ve abim Aydın ASLAN'a teşekkürü borç bilirim.

Nisan, 2016

Ayhan ASLAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	22
1.3 Hipotez	22
BÖLÜM 2	
SÜLEYMANİYE CAMİİ HAKKINDA BİLGİLER	24
2.1 Tarihçesi	24
2.2 Coğrafi Konumu	25
2.3 Yapısal ve Mimari Özellikleri	26
2.4 Kubbenin Restorasyonu	29
BÖLÜM 3	
KARMAŞIK YAPILARIN MODELLENMESİ.....	32
3.1 Nümerik Modelleme Teknikleri	32
3.2 Karmaşık Yapıların Modellenmesi	34
3.3 AutoCAD Üzerinden Sap2000'e Nesne Aktarma	35
3.3.1 Nokta Nesnelere	36
3.3.2 Çubuk Nesnelere	36
3.3.3 Kabuk Nesnelere	36

3.3.4	Katı Nesneler	37	
3.4	Süleymaniye Camii'nin Modellenmesi.....	38	
3.4.1	AutoCAD ile Şablon Oluşturulması	38	
3.4.2	Sap2000 ile Model Oluşturulması	38	
3.5	Modellemede Kolaylık Sağlayacak Öneriler.....	44	
BÖLÜM 4			
SÜLEYMANİYE CAMİİ'NİN FARKLI KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERE SAHİP DEPREMLERİN ETKİLERİ ALTINDA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ			48
4.1	Yapısal Modelleme ve Analiz	48	
4.2	Sonlu Elemanlar Modeli	49	
4.3	Dinamik Analiz	56	
4.4	Deprem Etkisi Altında Yapının Davranışı.....	61	
4.4.1	Üç Farklı Tarihi Büyük Deprem'in Yapıya Etkisi	61	
4.4.2	Yapı Zemini ve Kocaeli Depremi	73	
4.4.2.1	X Yönündeki Deprem Kaydı.....	78	
4.4.2.2	Y Yönündeki Deprem Kaydı.....	92	
4.4.2.3	Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	106	
BÖLÜM 5			
SONUÇ VE ÖNERİLER			119
KAYNAKLAR			122
ÖZGEÇMİŞ			129

SİMGE LİSTESİ

E	Elastisite modülü
f	Frekans
g	Yerçekimi ivmesi
Hz	Hertz
KN	Kilonewton
MPa	Megapascal
M _w	Moment magnitud ölçęđi
T	Periyot

KISALTMA LİSTESİ

Al	Alluvium
BaF	Bakirkoy Formation
BS	Beach Sand
CF	Cukurcesme Formation
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
FEM	Finite Element Method
GnF	Gungoren Formation
GrF	Gurpinar Formation
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
Mag	Magnitüd
MarDim	Marmara Disaster Mitigation
MF	Manmade Fill
PS Log	Pressure Shear Log
ReMi	Refraction Mictrotremor
TS	Türk Standardı
ITRF	Uluslararası Karasal Referans Çerçevesi (International Terrestrial Reference Frame)

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Süleymaniye Camii harita üzerindeki konumu	25
Şekil 2.2 Süleymaniye Camii vaziyet planı.....	26
Şekil 2.3 Süleymaniye Camii	27
Şekil 2.4 T.C. Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğüne ait 2007 yılında hazırlanmış AutoCAD rölövesindeki zemin planının sadeleştirilmiş hali	28
Şekil 2.5 Yüksek Mimar Ali Saim ÜLGEN'nin 1940 yılında çizdiği rölövelerdeki zemin planı	28
Şekil 2.6 Süleymaniye Camii kuzeydoğu cephesi rölövesi	29
Şekil 2.7 Cami ana kubbesi kesitleri üzerindeki çatlakların gösterimi	30
Şekil 2.8 Kılcal Çatlaklar İçin Onarım Detayı.....	31
Şekil 3.1 Mikro modelleme.....	32
Şekil 3.2 Basitleştirilmiş mikro modelleme	33
Şekil 3.3 Makro modelleme.....	33
Şekil 3.4 Bursa Ulu Camii makro model örneği	34
Şekil 3.5 AutoCAD uygulamasındaki PROPERTIES penceresi	35
Şekil 3.6 Gerçek yapının kabuk olarak çizilmesi	36
Şekil 3.7 Güneydoğu cephesinin dış hatlarının AutoCAD uygulaması ile çizilmesi	38
Şekil 3.8 Örnek zemin planı ve cephelerin ana hatlarının çizimi.....	39
Şekil 3.9 Sap2000'e çubuk eleman olarak aktarılan yardımcı çizgiler.....	40
Şekil 3.10 Güneydoğu cephesi sağ kısmın yardımcı çizgiler aracılığı ile çizilmeden önceki ve sonraki hali.....	41
Şekil 3.11 Meshlemeden sonraki sorunlu yerlerin tespiti	42
Şekil 3.12 Meshten sonra sorunları düzeltilmiş kabuklar	42
Şekil 3.13 Kabukların <i>EXTRUDE</i> edilerek katı nesneye çevrilmesi	43
Şekil 3.14 Karmaşık yapıların modellenmesinde takip edilecek yol	46
Şekil 3.15 Süleymaniye Camii bitirilmiş model	47
Şekil 4.1 Global koordinatlar ve gerilmeler.....	49
Şekil 4.2 Katı (solid) eleman işaret ve yönleri	50
Şekil 4.3 Kabuk (shell) eleman işaret ve yönleri.....	51
Şekil 4.4 a) S22 düşey gerilmesi b) S23 kayma gerilmesi	51
Şekil 4.5 Süleymaniye Camii modelleme aşamaları 1 ve 2	52
Şekil 4.6 Süleymaniye Camii modelleme aşamaları 3 ve 4	53
Şekil 4.7 Süleymaniye Camii modelleme aşamaları 5 ve 6	54

Şekil 4.8	Süleymaniye Camii modelleme aşamaları 7 ve 8	55
Şekil 4.9	Süleymaniye Camii X ekseninde en fazla kütle katılımına sahip mod şekli ..	59
Şekil 4.10	Süleymaniye Camii Y ekseninde en fazla kütle katılımına sahip mod şekli ..	59
Şekil 4.11	Süleymaniye Camii Z ekseninde etrafındaki burulma hareketinde en fazla kütle katılımına sahip mod şekli	60
Şekil 4.12	Süleymaniye Camii Z ekseninde en fazla kütle katılımına sahip mod şekli ..	60
Şekil 4.13	Düzce depremi(1999) ivme-zaman grafiği	62
Şekil 4.14	Kobe depremi(1995) ivme-zaman grafiği	62
Şekil 4.15	Northridge depremi(1994) ivme-zaman grafiği.....	62
Şekil 4.16	Düzce depremi(1999) yer değiştirme-zaman grafiği	63
Şekil 4.17	Kobe depremi(1995) yer değiştirme-zaman grafiği.....	63
Şekil 4.18	Northridge depremi(1994) yer değiştirme-zaman grafiği	63
Şekil 4.19	Yapının ağırlığının Z ekseninde oluşturduğu basınç gerilmeleri.....	66
Şekil 4.20	Kobe depremi X bileşeninin yapıda oluşturduğu en büyük çekme gerilmeleri.....	66
Şekil 4.21	Kobe depremi X bileşeninin etkisi altında oluşan düşey yöndeki çekme gerilmeleri ve bazı noktalardaki değerleri	69
Şekil 4.22	Kobe depremi Y bileşeninin yapıda oluşturduğu en büyük çekme gerilmeleri.....	70
Şekil 4.23	Northridge depremi Y bileşeninin kubbelerde (kabuk elemanlarda) oluşturduğu en büyük basınç gerilmeleri	70
Şekil 4.24	Kobe depremi X bileşeninin güney minaresi yüzeyinde oluşturduğu çekme gerilmeleri detayı.....	71
Şekil 4.25	Kobe depreminin Y bileşeninin kuzey minaresi yüzeyinde oluşturduğu basınç gerilmeleri detayı.....	71
Şekil 4.26	Northridge depremi Y bileşeninin ana kubbe yüzeyinde ve avlu tarafındaki yarım kubbe yüzeyinde oluşturduğu çekme gerilmeleri detayı	72
Şekil 4.27	Süleymaniye Camii'nin ITRF koordinat sistemine göre konumu	73
Şekil 4.28	Süleymaniye Camii'ni içerisine alan bölgenin seçimi	73
Şekil 4.29	Seçilen bölgenin koordinatları	74
Şekil 4.30	Seçili bölgede yer alan 35 adet sondaj verisinin konumları	74
Şekil 4.31	Seçili bölgede yer alan 18 adet ReMi verisinin konumları	74
Şekil 4.32	Seçili bölgede yer alan 2 adet PsLog verisinin konumları.....	74
Şekil 4.33	Seçilen bölge için oluşturulmuş olan zemin modeli	75
Şekil 4.34	Ana kaya yüzey eğrisi.....	76
Şekil 4.35	Zeytinburnu istasyonu zemin modeli	77
Şekil 4.36	Zeytinburnu istasyonunda ölçülen deprem kaydının x yönündeki bileşeni ve ana kayaya taşınmış hali	78
Şekil 4.37	Seçili bölgede gözlemlenen en büyük yer değiştirme dağılımı	79
Şekil 4.38	Seçili bölgede gözlemlenen en büyük hız dağılımı	80
Şekil 4.39	Seçili bölgede gözlemlenen en büyük ivme dağılımı	81
Şekil 4.40	Deprem x bileşeni etkisiyle t=10-100sn anında bölgede oluşan ivme dağılımı ve ana yapının yer değiştirme şekli.....	82
Şekil 4.41	Zeytinburnu istasyonunda ölçülen deprem kaydının y yönündeki bileşeni ve ana kayaya taşınmış hali	92
Şekil 4.42	Seçili bölgede gözlemlenen en büyük yer değiştirme dağılımı	93
Şekil 4.43	Seçili bölgede gözlemlenen en büyük hız dağılımı	94

Şekil 4.44	Seçili bölgede gözlemlenen en büyük ivme dağılımı	95
Şekil 4.45	Deprem in y bileşeni etkisiyle t=10sn anında bölgede oluşan ivme dağılımı ve ana yapının yer değiştirme şekli.....	96
Şekil 4.46	Kocaeli depremi(1999) ivme-zaman grafiği.....	107
Şekil 4.47	Kocaeli depremi(1999) yer değiştirme-zaman grafiği	107
Şekil 4.48	Kocaeli depremi X bileşeninin yapıda oluşturduğu en büyük çekme gerilmeleri.....	111
Şekil 4.49	Kocaeli depremi Y bileşeninin yapıda oluşturduğu en büyük çekme gerilmeleri.....	111
Şekil 4.50	Kocaeli depremi X bileşeninin yapıda oluşturduğu en büyük basınç gerilmeleri.....	112
Şekil 4.51	Kocaeli depreminin Y bileşeninin yapıda oluşturduğu en büyük basınç gerilmeleri.....	112
Şekil 4.52	Kocaeli depremi Y bileşeninin etkisi altında yapıda oluşan düşey yöndeki çekme gerilmeleri	113
Şekil 4.53	Kocaeli depremi Y bileşeninin kubbelerde oluşturduğu en büyük çekme gerilmeleri.....	114
Şekil 4.54	Yer değiştirme miktarları belirlenen noktaların yapı üzerinde gösterimi ..	115
Şekil 4.55	Kocaeli depremi Y bileşeninin kubbelerde oluşturduğu en büyük çekme gerilmelerinin üstten görünümü	118

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1	AutoCAD'den Sap2000'e aktarılabilen nesnelers.....35
Çizelge 4.1	Modelde kullanılan malzeme parametreleri.....49
Çizelge 4.2	Modların kütle katılım oranları..... 56
Çizelge 4.3	Süleymaniye Camii Periyot ve Kütle Katılım Oranları (1-50).....57
Çizelge 4.4	Süleymaniye Camii Periyot ve Kütle Katılım Oranları (50-100).....58
Çizelge 4.5	Modların frekansları ve geçmiş çalışmalar ile karşılaştırılması..... 61
Çizelge 4.6	Analiz sonucunda yapının tepe noktalarında tespit edilen en büyük yer değiştirme miktarları..... 64
Çizelge 4.7	Ölü yükler altında en büyük gerilmeler.....65
Çizelge 4.8	Deprem etkisi altında yapıda oluşan en büyük çekme gerilmeleri..... 67
Çizelge 4.9	Deprem etkisi altında yapıda oluşan en büyük basınç gerilmeleri.....68
Çizelge 4.10	Kocaeli depremi etkisi ile yapının tepe noktalarında tespit edilen en büyük yer değiştirme miktarları..... 106
Çizelge 4.11	Kocaeli depremi etkisi ile yapıda oluşan pozitif yöndeki en büyük gerilmeler..... 108
Çizelge 4.12	Kocaeli depremi etkisi ile yapıda oluşan negatif yöndeki en büyük gerilmeler..... 108
Çizelge 4.13	Kocaeli depremi etkisi ile kubbelerde oluşan pozitif yöndeki en büyük gerilmeler..... 109
Çizelge 4.14	Kocaeli depremi etkisi ile kubbelerde oluşan negatif yöndeki en büyük gerilmeler..... 109
Çizelge 4.15	Belirli zamanlarda yapıda oluşan yer değiştirme miktarları..... 116

SÜLEYMANİYE CAMİİ'NİN YEREL ZEMİN KOŞULARINA BAĞLI DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Ayhan ASLAN

İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Abdurrahman ŞAHİN

Mimar Sinan'ın 1550 yılında yapımına başladığı ve 7 senede yapımını bitirdiği Süleymaniye Camii, bu çalışmada 3 boyutlu olarak modellenmiş, bölgedeki sondaj verileri ile yapının üzerinde bulunduğu zemin modellenmiş ve farklı karakterdeki depremler ile zemine bağlı elde edilen deprem kayıtlarının etkisi altında yapının davranışı incelenmiştir. Yapısal modellemede katı ve kabuk elemanlar kullanılmış, sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapılmıştır. Oluşturulan model geçmiş çalışmalarda yapılan titreşim deney sonuçları referans alınarak güncellenmiştir. Bunun yanında, dünyanın farklı bölgelerinde yaşanmış deprem kayıtları değerlendirme amaçlı olarak yapıya doğrudan etki ettirilmiştir. Analizler sonucunda yapının deprem etkileri altında yapacağı davranışlar elde edilmiştir. Yapının depremlerden en çok etkilenen bölgeleri tespit edilmiş ve yapıda meydana gelen yer değiştirme ve gerilmelere bağlı olarak davranış irdelenmiştir. Sonuçlar neticesinde değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Süleymaniye Camii, Deprem Analizi, Yığma Yapı, Tarihi Yapı, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Dinamik Analiz, Zaman Tanım Alanında Analiz, Sap2000

**EARTHQUAKE PERFORMANCE EVALUATION OF SULEYMANIYE MOSQUE
DEPENDING ON LOCAL SOIL CONDITIONS**

Ayhan ASLAN

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Abdurrahman ŞAHİN

In this study, 3D structural model of Suleymaniye Mosque which Mimar Sinan began the construction in 1550 and finished in 7 years is developed, the soil where the structure is located is modeled by using the borehole data and the behavior of the structure is examined under the influence of earthquakes with different characters and seismic records produced depending on the soil model. Solid and shell elements are used for structural modeling and analyses are performed with finite element method. The developed model is updated by comparing with the previous vibration test results. In addition, earthquake records in different parts of the world are directly applied to the structure for the purpose of evaluation. At the end of the analyses, the behavior of the structure under the earthquake effects is obtained. The most affected areas of the structure are determined and the structural behavior is investigated depending on the displacement and stresses over the structure. Finally, assessments have been made about the obtained results.

Keywords: Suleymaniye Mosque, Earthquake Analysis, Masonry Structure, Historical Structure, Finite Element Method, Dynamic Analysis, Time History Analysis, Sap2000

GİRİŞ

Bu tez çalışmasında Süleymaniye Camii, tam ölçekli olarak modellenmiş, yerel zemin koşulları dikkate alınarak zemin modeli oluşturulmuş ve deprem etkisi altında yapısal davranışı incelenerek değerlendirmeler yapılmıştır.

Ülkemiz tarihi yapı mirası bakımından oldukça zengin bir birikime sahiptir. Pek çok tarihi yapı ise halen aktif olarak kullanılmaktadır. Özellikle Osmanlı döneminden kalma camiler İstanbul'da yoğun olarak kullanılmakta, turistik olarak pek çok ziyaretçiye ev sahipliği yapmaktadır. Bu camiler içerisinde en meşhurlarından olan Süleymaniye Camii, 16. yüzyılda Mimar Sinan tarafından dönemin padişahı olan Kanuni Sultan Süleyman adına İstanbul'da inşa edilmiştir. Mimar Sinan'ın kalfalık dönemi yapılarından olan cami Klasik Osmanlı Mimarisinin en önemli örneklerinden birisidir.

1.1 Literatür Özeti

Selahiye vd. [1] tarafından 1995 yılında yapılan çalışmada, Süleymaniye Camii'nin çevresel titreşim deneyleri ve üç boyutlu sonlu elemanlar analizi yapılarak yapının doğal titreşim frekansları ve mod şekilleri elde edilmiştir. Camiye yerleştirilen dokuz adet hassas yer hareketi kaydedicisi ile 1994 yılında kaydedilen küçük şiddetli bir depremin kayıtlarından yararlanılarak aynı dinamik özellikler tekrar bulunmuştur. Üç şekilde elde edilen doğal titreşim frekansları birbirlerine yakın sonuçlar vermiş ve sonuçların güvenilirliğini kanıtlamıştır.

Giordano vd. [2] tarafından 2002 yılında yapılan çalışmada, yığma yapıların analizi amacıyla farklı numerik modelleme teknikleri incelenmiştir. Deneysel test verileri tam ölçekli örnek yığma yapıdan elde edilmiştir. Üç farklı modelleme yaklaşımı üzerinde

durulmuştur. ABAQUS, CASTEM 2000 ve UDEC programları ile Sao Vicente de Fora manastırının örnek alınan yeri incelenmiştir. Program analiz sonuçları tek tek incelenmiş, deneysel veriler ve programların sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Teomete [3] tarafından 2004 yılında yapılan çalışmada, tarihi yığma yapıların sonlu elemanlar metodu ile modellenmesi incelenmiştir. Urla Kamanlı Cami'nin sonlu elemanlar modeli oluşturulup, analizi LUSAS adlı uygulama ile gerçekleştirilmiştir. Tarihçe araştırılması, rölöve, uzun dönem gözlemler, malzeme testleri yapılmıştır. Bölgedeki depremler ve yerel zemin koşulları incelenmiştir. Yapının kendi ağırlığı altında güvenli olduğu tespit edilmiştir. Kasnak kubbe birleşimi ile kasnak ve 2. seviye pencerelerde önemli miktarlarda gerilmeler tespit edilmiştir. Sismik analiz, tepki spektrumu kullanılarak yapılmıştır. Hatıl boşlukları ve kasnak kubbe birleşimlerinin sismik yük altında tehlikede olduğu tespit edilmiştir. Yapıdaki mevcut çatlakların oturma ve yapının ölü yükü nedeni ile olduğu tespit edilmiştir. Doğrusal olmayan oturma ve ölü yük analizi LUSAS programında ve beton malzeme modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapıda mevcut olan çatlakların 1. asal gerilme konturları ile uyumakta olduğu belirlenmiştir. LUSAS programının beton malzeme modelinin yığma yapıları modellemek için uygun olduğu kanaatine varılmıştır.

Bayraktar [4] tarafından 2005 yılında yapılan çalışmada, tarihi yığma yapıların sismik güçlendirmesi çalışmalarında uyulması gereken hesap ve yapım kuralları hakkında bilgi verilmiştir. SGM 365 metodu ve alternatif önerilerden bahsedilmiştir.

Sallio [5] tarafından 2005 yılında yapılan çalışmada, 1950'li yıllarda yığma yapı olarak inşa edilen Buldan Göğüs Hastalıkları Hastanesi'nin bazı duvarların püskürtme beton yöntemi ile güçlendirilmesi tavsiye edilmiştir. Yapının mevcut durumu ile güçlendirildikten sonraki hali SAP 2000 uygulaması ile analiz edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak yapının doğal titreşim periyodu şu anki halinde 0,195 sn. iken güçlendirilmiş hali ile 0,146 sn.'ye düşmüştür. Yani yapının rijitliği arttırılmıştır. Yapıda katlar arasındaki duvar süreksizlikleri yeni yığma duvarlar ilave edilerek ortadan kaldırılmış ve binanın taşıma gücünde zayıflık yaratan yerleri giderilmiştir. Terasları taşıyan 25x25 boyutlarındaki narin kolonlar mantolama uygulaması ile düşey ve yatay yüklere karşı güçlendirilmiştir. Bazı duvarlarda 10 cm kalınlığında hasır donatılı

betonarme güçlendirme kabuğu uygulanarak düzlem dışı yer değiştirme hareketleri azalmıştır.

Vatan [6] tarafından 2005 yılında yapılan çalışmada, YTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Anabilim Dalı tarafından Mimar Sinan'ın yapmış olduğu Eğrikemer'in fotogrametrik ölçümleri yapılmış ve üç boyutlu modeli oluşturulmuştur. Uygulama örneğinde sayısal veriler kullanılarak üç boyutlu düğüm noktası modeli ve üç boyutlu katı model, herhangi bir analiz programına bağlı kalınmadan oluşturulmuştur. Oluşturulan model daha sonra analiz programına aktarılmıştır.

Özer [7] tarafından 2006 yılında yapılan çalışmada, yığma yapıların yapı elemanları incelenerek farklı açılardan analizleri yapılmıştır. Yapısal, biçimsel ve statik açıdan yapılan analizlerde, yapı elemanlarının biçimlerinden kesit tayinine, kullanılacak malzemelerden stabilite ilkelerine kadar birçok konu ele alınmıştır. Sonuç olarak geleneksel yığma yapılarda yapı elemanların üzerindeki yüke bağlı olan itki çizgisinin, yapı elemanı üzerindeki yeri ve açısının önemi belirtilmiştir.

Aytekin [8] tarafından 2006 yılında yapılan çalışmada, yönetmelik ve standartlara göre yığma yapı sınıfları ve hesap yöntemleri tanıtılarak, donatısız ve sarılmış yığma yapıların deprem davranışları karşılaştırılmıştır. Tuğla ve gaz betondan yığma yapı modelleri oluşturulmuş, Düzce depremi ivme kaydından yararlanılarak SAP2000 uygulamasında mod birleştirme yöntemi ile analizi yapılmıştır. Her iki malzemedен oluşan yapı modelleri için donatısız ve sarılmış durumları ele alınarak elde edilen kesit tesirleri, yer değiştirme değerleri tablo ve grafikler halinde karşılaştırılmıştır. Ardından maliyet hesapları yapılmıştır. Donatısız ve sarılmış yığma yapı modelleri için seçilen düğüm noktalarının yer değiştirme miktarları karşılaştırıldığında genelde sarılmış durumda daha az yer değiştirme olduğu gözlemlenmiştir. Maliyet analizlerinde ise sarılmış durumdaki modeller için maliyetin yaklaşık %18 oranında artığı tespit edilmiştir. Buna rağmen sarılmış yığma yapıların depremde daha az hasar aldığı tespit edilmiştir. Onarım ve güçlendirme maliyetinin çok yüksek olduğu göz önünde bulundurularak sarılmış yığma yapıların tercih edilmesinin daha uygun olacağı kanaatine varılmıştır.

Özen [9] tarafından 2006 yılında yapılan çalışmada, Hasankeyf'te yer alan yığma bir yapının modellenmesi oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan farklı

uygulamalar ile gerilmeler, şekil değiştirmeler ve mod şekil değiştirmeleri kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca yapının doğrusal analizi yapılmış ve doğrusal olmayan davranışla karşılaştırması yapılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında benzer değerler elde edilmiştir. Tüm yapının incelenmesinde doğrusal analizin, doğrusal olmayan analiz için yeterli bir alternatif olduğu görölmüştür.

Bayraktar [10] tarafından 2006 yılında yapılan çalışmada, tarihi yapılarda oluşan hasarlar ve bu hasarların nedenleri ile farklı tipteki tarihi yapılar için uygun olan sismik güçlendirme metotları hakkında bilgi verilmiştir.

Mahrebel [11] tarafından 2006 yılında yapılan çalışmada, tarihi yapı türleri, yığma yapılardaki kullanılan malzemeler, yığma yapıların taşıyıcı sistemlerinin özellikleri, deprem güvenliğinin incelenmesi, oluşan hasarlar ve türleri ile onarım ve güçlendirme yöntemleri konuları ele alınmıştır.

şen [12] tarafından 2006 yılında yapılan çalışmada, tarihi yığma yapıların modellemesi ve analiz metotları hakkında bilgiler verilmiştir. Çalışmanın yapıldığı sırada 105 yaşında olan Hemdat İsrail Sinagogu model olarak belirlenmiştir. Bu amaçla sinagog düşey ve yatay yükler altında incelenmiştir. Binanın tepkisinin değerlendirilmesi için Sap 2000 uygulaması (9.1 sürümü) ile doğrusal analiz yapılmıştır. Ayrıca yığma yapılarda geniş pencere çerçevelerinin yapının sismik davranışına etkisi incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda pencere çerçeveli ve pencere çerçevesiz olmak üzere iki farklı model oluşturulmuş ve analizi yapılmıştır. Yapı elemanlarının gereken dayanımı, malzemelerin varsayılan elastik kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre Hemdat İsrail Sinagogu sismik hareketlere karşı yeterli dayanıma sahip değildir. Sismik hareketler sırasında dış duvarlarda yıkılma olabileceği tespit edilmiştir. Sismik bir hareket olmasa bile yapı tehlike altında olduğu kanaatine varılmıştır. Analiz sonucu yüksek gerilmelerin olduğu bölgelerde gerçek yapı üzerinde de hali hazırda mevcut çatlakların olduğu gözlemlenmiştir.

Sesigür vd. [13] tarafından 2007 yılında yapılan çalışmada, tarihi yığma binalar için onarım ve güçlendirme prensiplerinin adımları ve yöntemleri, yığma kâgir yapılarda taşıyıcı bileşenler ile yapı güvenliği hakkında bilgiler verilmiştir.

Yıldırım [14] tarafından 2007 yılında yapılan çalışmada, literatürde deney sonuçları var olan prizmaların blok, harç ve dolgu malzemesi etkin olacak şekilde 3 boyutlu sonlu eleman modelleri LUSAS programında yapılmıştır. Modeli gerçekleştirilen prizmaların elastik analizlerinde Drucker-Prager kırılma kriterleri ve izotropik hasar modeli (Oliver modeli) kullanılmıştır. Bu analizler sonucunda, blok, harç ve dolgu betonun dayanımına bağlı olarak Drucker-Prager kırılma kriterlerinin malzeme parametreleri olan kohezyon ve içsel sürtünme açısı ve malzeme hasar parametresi değerleri için bağıntılar önerilmiştir. Bu analizlerin sonuçları kullanılarak içi boş ve içi dolu prizmaların basınç dayanımlarını tahmin etmeye yönelik iki bağıntı önerilmiştir. Son olarak Yıldız Teknik Üniversitesi laboratuvarlarında içi boş ve içi değişik dayanıma sahip dolgu betonu ile doldurulmuş prizmaların deneyleri yapılmıştır. 3 boyutlu doğrusal olmayan sonlu eleman analizleri yapılmıştır. Bu analizlerin sonuçları ile deney ve önerilen bağıntıların sonuçları karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

Aköz [15] tarafından 2008 yılında yapılan çalışmada, tarihi yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesi konusu hakkında bilgi verilmiş, örnek bir tarihi yığma yapının üç boyutlu sonlu eleman modeli oluşturularak statik ve dinamik analizleri yapılmış, deprem güvenliği belirlenip güçlendirme ihtiyacı ve yöntemi tartışılmıştır. 1400'lü yıllarda yapılan Murat Paşa Camii'nin üç boyutlu sonlu eleman modelinin statik ve dinamik analiz ve sonuçları, elde edilen diyagramlarla anlatılmış, mevcut güvenlik düzeyi irdelenmiş ve güçlendirme yöntemleri tartışılmıştır. Yapıdaki en büyük yer değiştirme, büyük kemerin tepe noktasında düşey doğrultuda 1.5 mm, en büyük gerilme ise yine aynı noktada olup 0.35 MPa olarak hesaplanmıştır. Modal spektral analiz neticesinde yapının X doğrultusunda etki eden depremde Y doğrultusundakine göre daha fazla şekil değiştirdiği ve gerilmelerin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Dabanlı [16] tarafından 2008 yılında yapılan çalışmada, tarihi yığma yapıların deprem performansının belirlenmesi konusu ele alınmıştır. Örnek yapı üzerinde çalışmadan ve değerlendirme çalışmalarına başlamadan önce yapılması gereken hazırlıklar, tarihi araştırmalar, malzeme özelliklerinin belirlenmesi, zemin özellikleri, tarihi yığma yapıların sayısal olarak modellenmesi ve analiz metodları üzerinde durulmuştur. Daha sonra Hırka-i Şerif Camii için üç boyutlu sayısal analiz modeli oluşturulmuştur. Modelin çeşitli yükleme durumları için sayısal çözümü yapılmış, sırasıyla düşey yükler altında statik

analiz, modal analiz ve davranış spektrumu analizleriyle yapının performansı, gerilmeler ve yer değiştirmeler yoluyla değerlendirilmiştir. Hırka-i şerif Camii'nde meydana gelen hasarların büyük bir bölümünün zemin hareketlerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Camii zemininde yapılan sondaj ve muayene çalışmalarından anlaşıldığı üzere, yapı dolgu bir zemin üstünde bulunmasına rağmen 4 m aşağıya uzanan temeller, Süleymaniye Formasyonu olarak bilinen dolgu altındaki tabakaya oturtulmuştur. Dolgu zemin tabakasının yaptığı oturmaların da yapının taban döşemesinde 5–10 cm mertebelerinde oturmalara sebep olduğu tespit edilmiştir. Model üzerinde gerçekteştirilen analizlerden elde edilen verilere göre yapı, genel olarak (minareler hariç) her hangi bir yapısal tehlike barındırmamaktadır. Minareler yer değiştirmeler yönüyle, tepe noktasında yaklaşık 15-20 cm'yi bulan yer değiştirmeyle Kültürel Değerin Korunması performans seviyesindedir. Gerilmeler açasından değerlendirildiği zaman ise minareler göçmenin önlenmesi performans düzeyinde görölmektedir. Düşey yükler altında yapılan statik analiz sonucunda, yapının düşey (zati, hareketli ve kar yükleri) yükleri güvenli olarak taşıdığı sonucuna varılmıştır. Hırka-i şerif Camii'nin G+Q düşey yükleri altında güvenli olduğu tespit edilmiştir. Deprem yüklerinde, mahfillerde özellikle sütunların üzerinde yer alan kısımda büyük yer değiştirmeler tespit edilmiştir. Ayrıca yapı için güçlendirme önerilerinde bulunulmuştur.

Gedik [17] tarafından 2008 yılında yapılan çalışmada, tarihi yığma yapıların malzeme özellikleri, elemanları, bu yapılarda oluşan hasarlar ve bunların onarım ve güçlendirilmesi hakkında özet bilgi verildikten sonra, tarihi Mehmet Ağa Camii üzerinde incelemeler yapılmıştır. Yapının modeli oluşturulmuş ve kendi ağırlığı ile deprem yükleri altında analizi yapılmıştır. 50 yılda aşılma olasılıkları %2 ve %10 olan iki farklı deprem yüklemesi kullanılmıştır. Mevcut hasarların nedenlerini belirlemek amacıyla özellikle çekme gerilmesi bölgeleri araştırılmış ve mevcut hasarlarla karşılaştırması yapılmıştır. Gelecekteki olası hasarların önlenmesi için bazı onarım ve güçlendirme önerilerinde bulunulmuştur.

Sato vd. [18] tarafından 2008 yılında yapılan çalışmada Kocaeli depremi öncesi ve sonrası Süleymaniye Camii, Ayasofya Müzesi, şehzade Camii ve yeni yapılmış bir ofis binasının doğal titreşim frekansları incelenmiş ve Kocaeli depreminin doğal titreşim frekanslarını ne kadar değiştirdiği üzerine çalışılmıştır. Sonuçlara göre yaklaşık 500 sene önce yapılmış

olan Süleymaniye Camii'nin % 2.8, yaklaşık 1500 yıl önce yapılmış olan Ayasofya Müzesi'nin % 8.9, yaklaşık 500 sene önce yapılmış olan Şehzade Camii'nin % 4.8 ve yani yapılmış ofis binasının ise % 8.5 oranında doğal titreşim frekanslarının değiştiği ortaya çıkmıştır.

Kara [19] tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada, tarihi yapılarda en çok rastlanılan yığma yapı yapım tekniği incelenmiş, tarihi yığma yapıların taşıyıcı sistemleri, kullanılan malzemeler tanıtılmış, yürürlükteki deprem yönetmeliği koşullarına göre yığma yapı tasarım ilkelerine değinilmiş ve yığma yapılarda oluşan hasar türleri ve onarım güçlendirme teknikleri incelenmiştir. Ele alınan örnek yapılarla ilgili tahkikler ve sayısal hesaplamalara yer verilmiştir.

Öztaş [20] tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada, mevcut bir yığma yapı ele alınarak analizi yapılmıştır. Daha sonra bu yapıya betonarme güçlendirme perdeleri eklenerek tekrar analiz edilmiştir. Son olarak cam lifli polimerlerle (GFRP) güçlendirilerek üçüncü bir analiz yapılmış ve yer değiştirmeler ile momentlerin karşılaştırması yapılmıştır. Sonuç olarak betonarme perdeler veya GFRP ile güçlendirilmiş yığma yapıda yer değiştirmelerde ciddi azalmalar görülmüştür. Karşılaştırma sonuçlarına bakıldığında betonarme perde ilave edildiğinde sistemin X doğrultusundaki yer değiştirmesinde mevcut yapının yer değiştirmesine göre yaklaşık 4 kat, Y doğrultusundaki yer değiştirmesinde mevcut yapının yer değiştirmesine göre yaklaşık 9 kat azalma olmuştur. GFRP'li güçlendirme yapıldığında ise sisteminin X doğrultusundaki yer değiştirmesinde mevcut yapının yer değiştirmesine göre yaklaşık 1.5 kat, Y doğrultusundaki yer değiştirmesinde mevcut yapının yer değiştirmesine göre yaklaşık 4 kat azalma olmuştur. Betonarme perdeyle güçlendirilmiş yapı ile mevcut yapının moment kapasiteleri karşılaştırıldığında ise bina genelinde mevcut sisteme göre 8 yığma duvarın moment taşıma kapasitesinde artış olmuştur. Lifli polimerle (GFRP) güçlendirilmiş yapının tamamındaki taşıyıcı yığma duvarlarda moment yetersizliği görülmüştür. Yer değiştirmeler açısından incelendiğinde GFRP güçlendirme sistemi, betonarme perdelerle yapılan güçlendirme sistemine göre binada daha fazla yer değiştirme oluşturmuştur. Moment kapasiteleri açısından incelendiğinde betonarme perdelerle güçlendirilmiş sistem yığma duvarların moment kapasitesini olumlu yönde etkilemiştir. Betonarme perdelerle güçlendirme sistemi yapının deprem dayanımını arttırmış, yapının diğer

sistemlere göre daha az yer değiştirme yapmasını sağlamıştır. GFRP ile güçlendirilmiş yığma duvarlı sistemin moment kapasitelerine olumlu yönde etkisi betonarme sistemin altındadır. Ayrıca betonarme ile güçlendirilmiş sisteme göre daha fazla yer değiştirme yapmaktadır. Bu durumun statik açıdan yeterli olması halinde özellikle tarihi yapılarda tercih edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Ural [21] tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada, yığma yapı sistemleri, kullanılan malzemeler, ilgili yönetmelik ve standartlar ile yığma yapıların statik ve dinamik yükler altındaki davranışları doğrusal ve doğrusal olmayan yanlarıyla ele alınmıştır. Geliştirilmiş olan bir adet pratik deprem hesabı programı ile birlikte LUSAS ve DIANA programları yardımıyla çeşitli analizler gerçekeştirilmiştir. Yığma duvar dayanımlarını ve yığma yapıların deprem davranışlarını etkileyecek olan bazı parametreler yapısal modeller yardımıyla incelenmiştir. Ayrıca depremde hasara uğramış gerçeek bir yığma yapının analizleri yapılmıştır. Dolu gövdeli yığma duvar uzunluklarının taşıma kapasitesine olan etkilerinin incelendiği çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, dolu gövdeli duvar uzunluğu ortalama olarak 1,5m-1,8m arasındaki mesafelerdeki duvarlar optimum taşıma kapasitesine sahip duvarlar olarak tespit edilmiştir. Balâ depreminde ağır hasara uğrayan tuğla bir yığma yapının statik ve dinamik analizleri yapılmıştır. Yapıda düşey ve yatay hatılların mevcut olmayışından dolayı hasara uğramış olduğu gözlemlenmiştir. Tuğlalar arasındaki harcın çekme dayanımının çok düşük olmasının meydana gelen hasaların önemli bir etken olduğu tespit edilmiştir. Yapılan doğrusal olmayan analizler sonucunda binada meydana gelen çatlaklar, oluşturulan modelde de elde edilmiştir. Balâ depremindeki yapısal hasarların incelenmesi üzerine statik, modal, tepki spektrumu ve zaman-tanım alanında analizler yapılmış, daha sonra basitleştirilmiş mikro modelleme yöntemiyle iki farklı duvarın doğrusal olmayan analizleri gerçekeştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında doğrusal olmayan analizlerden elde edilen verilerin, gerçeekte yapıdaki hasarları yorumlamada daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Ulukaya [22] tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada, ikiz iki konuttan oluşan tarihi yığma yapının taşıyıcı duvarları bodrum katta taş, üst katlarda tuğla ile inşa edilmiştir. İnşa edildiği dönemde mesken olarak kullanılması düşünölen yapıda betonarme, çelik ve ahşap gibi farklı taşıyıcı ve bağlayıcı sistemleri bulundurması nedeniyle üzerinde çalışılmaya değer bir yapı olduğu düşünölmüştür. Yapının malzeme ve yapım teknikleri

irdelenmiş, yapıda bulunan hasarlar belgelenerek rölövesi oluşturulmuştur. Yapıda mevcut bulunan hasarların nedenlerini tespit etmek ve yapının deprem güvenliğini oluşturmak üzere 3 boyutlu modeli oluşturulmuştur. Analitik yöntemlerle ayrı ayrı statik çözümler yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında yapının düşey ve yatay gerilmeler karşısındaki davranışı ve zayıf noktaları tespit edilmiştir. Yapının strüktürel özgün konut işlevini sürdürebilmesi için restorasyon projesi hazırlanmıştır.

Sayın [23] tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada, yağma duvarlar için doğrusal ve doğrusal olmayan statik ve dinamik analiz yapabilen bir uygulama oluşturulmuştur. Yazılan uygulama MATLAB üzerinden yapılmıştır. Duvar malzemesi için şekil değiştirme yumuşamasını göz önünde bulunduran yayılı çatlak modeli kullanılmıştır. Ayrıca yine MATLAB ile duvarın iki ve üç boyutlu sonlu eleman modelini oluşturan bir mesh programı oluşturulmuştur. Statik artımsal analiz için pencere boşluğuna sahip bir duvarın sol üst köşesindeki ilgili düğüm noktasına x yönünde artımsal yük uygulanmıştır. Doğrusal olmayan dinamik analiz için ise Erzincan (1992) ve Bingöl (2003) depreminin ivme kayıtları kullanılmıştır. Öncelikle yazılan programın doğruluğunu test etmek amacıyla; örnek duvarın lineer ve lineer olmayan dinamik analizleri yapılmış mevcut paket programın sonuçlarıyla karşılaştırılarak yazılan programın doğruluğu onaylanmıştır. Ardından örnek duvar için parametrik çalışmaya geçilmiştir. Duvarın malzeme ve boyut parametrelerine bağlı olarak statik artımsal analizleri ile lineer olmayan dinamik analizleri yapılmış, dinamik analizlerde söz konusu deprem ivme kayıtları ölçeklendirilerek (0.8, 1.0 ve 1.2) kullanılmıştır. Statik artımsal analiz için yapılan çözümler incelendiğinde, yağma duvarlarda deprem etkisiyle oluşan diyagonal çatlaklarda olduğu gibi, duvarın üst kısmı ile pencere köşe kısımlarından başlayarak yükün şiddetine bağlı olarak çatlakların duvar içinde ilerlediği gözlemlenmiştir. Farklı çekme dayanımlarına sahip yağma duvarlarda oluşan hasar durumu incelendiğinde, duvarlarda meydana gelen hasarların benzer bölgelerde meydana geldiği fakat malzemenin çekme dayanımının azalmasına bağlı olarak hasarın büyüdüğü ve daha hızlı yayıldığı gözlenmiştir. Yağma duvarda bulunan pencere boşluğu miktarının artışına bağlı olarak duvarda meydana gelen hasar durumunun incelendiği çalışmada, yedi farklı model oluşturulmuştur. Analiz sonuçlarına göre hasarın daha çok pencere boşluğu ve duvar köşelerinde yoğunlaştığı ve duvar içindeki boşluk miktarının artmasıyla hasar

bölgesinin büyüdüğü ve daha hızlı yayıldığı ayrıca duvar içinde yeni hasar bölgelerinin oluştuğu gözlemlenmiştir. Yığma duvara değişik konumlarda yerleştirilen hatılların çatlak yayılışını ve hasar biçimini etkilemekte olduğu görülmüştür. Ayrıca, bu hatılların duvarda oluşan hasar bölgelerini sınırlandırmasına ve yayılış doğrultusunun değişmesine sebep olduğu gözlemlenmiştir. Doğrusal analizdeki maksimum asal gerilmelere ait pik değerlerin malzemenin çekme dayanımını aşarak malzemede çekme kırılmasına sebep olabildiği, minimum asal gerilmelerin pik değerlerinin ise malzemenin basınç dayanımının altında kaldığı tespit edilmiştir. Yer değiştirme ve asal gerilmelerin zamana bağlı grafiklerine bakıldığında her iki depremin ivme kayıtları için duvarda ilk çatlak oluşana kadar lineer ve lineer olmayan dinamik çözümlerin aynı olduğu görülmüştür. Çatlakların artmasıyla birlikte doğrusal ve doğrusal olmayan çözümler arasındaki farkların belirgin hale geldiği gözlemlenmiştir. Çatlaklar, genellikle duvardaki pencere köşelerinde ortaya çıkmakta ve dinamik etkiye bağlı olarak pencere boşluğu ile duvar köşeleri arasında yayılarak genişlemektedir. İvme genlik katsayısının artışı duvardaki ilk çatlak anını küçültmekte ve ivme genlik katsayısının artışına bağlı olarak çatlak yayılım hızı ve yayılma bölgesinin büyüme gösterdiği tespit edilmiştir. Depremler neticesinde elde edilen çözümler birbirleriyle karşılaştırıldığında; gerek tepki büyüklüklerinin zamanla değişimleri gerekse hasar bölgelerinde oluşan çatlak yoğunlaşması farklılık göstermektedir. Farklı deprem kayıtları için duvarda meydana gelen ilk çatlak yeri ve zamanı değişiklik göstermiştir. Sonuç olarak, deprem karakteristiklerinin çözümleri önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.

Türker [24] tarafından 2010 yılında yapılan çalışmada, tarihi yığma yapılar incelenmiş, tanımlanmış, strüktürel davranışı açıklanmış ve Türk Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen esaslar üzerine EXCEL formatında bilgisayar programı oluşturulmuştur. Bu program ile İstanbul Üniversitesi Eczacılık Fakültesi binasının deprem analizleri yapılmıştır. Malzeme özelliklerinin belirlenmesi için örnek binayla aynı dönem (19 yy) ve aynı yapı tekniği ile yapılmış Ali Fakih Sıbyan Mektebi ve Abdülmecit Evi'nden alınan numunelerle İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Koruma Uygulama ve Denetim Müdürlüğü (KUDEB) laboratuvarlarında deneyler yapılmıştır. Yığma duvarın dinamik davranışı ve SAP2000 uygulamasında tipik bir duvarın davranışı gözlemlenmiştir. Örnek yapının özgün durumunda tüm duvarların basınç dayanımlarının basınç emniyet gerilmelerini aşmadığı

görülmüştür. Çoğu duvarın kayma gerilmelerinin ise kayma emniyet gerilmesini aştığı gözlemlenmiştir. Yapı duvarlarının basınç emniyet gerilmelerini aşmadığı ama birçoğunun da kayma emniyet gerilmelerini aştığı tespit edilmiştir. Kayma emniyet gerilmelerinin aşılmasında kat yüksekliklerinin fazla olması ve duvar kalınlıklarının az olmasının etkisinin büyük olduğu kanaatine varılmıştır. Yapıda rijitlik ve kütle merkezlerinin çakışmamasından dolayı büyük burulma momentlerinin olduğu tespit edilmiştir.

İspir [25] tarafından 2010 yılında yapılan çalışmada, 19. yy'da yapılan tarihi bir yığma yapı olan, Akaretler Sıraevler Grubu'nun taşıyıcı duvarlarından alınan numuneler üzerinde deneysel çalışma yapılmıştır. Taşıyıcı duvarlarından alınan tarihi tuğla ve harç örnekleri üzerinde mekanik, fiziksel ve kimyasal deneyler yapılmıştır. Tuğla ve harç örneklerinin eğilmede çekme ve basınç dayanımları deneysel olarak tespit edilmiştir. Tarihi malzemenin, günümüz malzemesine göre daha düşük dayanımlı olduğunu sonucuna varılmıştır. Mevcut taşıyıcı duvarlarından karot ve duvar parçacıkları çıkarılmış, karotlar üzerinde yarma, basınç ve kayma deneyleri gerçekleştirilmiş ve duvar parçacıkları ise monotonik ve tekrarlı basınç yüklemeleri altında test edilmiştir. Prizma ve duvar numuneleri üzerinde basınç ve kayma deneyleri yapılmıştır. Deneyler neticesinde, ilgili dayanım ve deformasyon özellikleri elde edilmiştir. Sonlu elemanlar programı (Abaqus) kullanılarak elde edilen prizma ve duvarın basınç gerilmesi-düşey şekil değiştirme ilişkileri, deneysel olarak elde edilen ilişkilerle karşılaştırılmıştır. Sonlu eleman analizinin, numunelerin basınç dayanımlarını tahmin etmede başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Ercan [26] tarafından 2010 yılında yapılan çalışmada, tarihi yığma yapıların güvenliklerinin belirlenmesinde kullanılan analitik ve deneysel yöntemlerin, İzmir'de bulunan iki örnek yığma yapıda uygulamasına yer verilmiştir. Tarihi yığma yapıların malzeme özelliklerini belirlemede kullanılan deneysel yöntemler, Vezir Su Kemer ve Urla Zeytinler Köyü'nde bulunan tarihi taş kemer köprüde uygulanmıştır. Yapıların malzeme özelliklerini belirlerken yapılar üzerinde tarihsel inceleme, tahribatlı ve tahribatsız malzeme testleri, dinamik inceleme, darbe-eko yöntemleri uygulanmıştır. Yapıların bulunduğu bölgelerde ise, zemin incelemeleri ile mikrotremor ölçümler yapılmış ve bölgelerin depremselliği gözlemlenmiştir. Yapıların taşıyıcı sistemini

oluşturan taş, tuğla ve harç üzerinde yapılan malzeme testleri ile malzeme parametreleri elde edilmiştir. Bu özellikler kullanılarak yığma yapıların sonlu elemanlar yöntemi ile modal analizi yapılmış ve dinamik karakteristikleri elde edilmiştir. Ele alınan tarihi yapılara Operasyonel Modal Analiz uygulaması yapılmış ve deneysel dinamik karakteristikleri tespit edilmiştir. Deneysel ve analitik yöntemlerle bulunan dinamik sonuçlar karşılaştırılarak, malzeme testlerinin yeterliliği tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlarla yapıların doğrusal olmayan statik analizleri ve dinamik analizleri yapılmış ve yapıların güvenilirliği tartışılmıştır.

Kaya [27] tarafından 2010 yılında yapılan çalışmada, donatısız yığma duvarların doğrusal olmayan analizi ile ilgili modelleme teknikleri hakkında bilgi verilmiştir. Donatısız yığma duvarların iki ve üç boyutlu elastik-plastik modellemeleri yapılmış, plastik aşamada kullanılan kırılma modelinin ihtiyaç duyduğu malzeme parametrelerinden kohezyon ile ilgili parametrik bir araştırma yapılmıştır. Bu bağlamda, literatürde yer alan örnek bir donatısız yığma duvarın, farklı sonlu eleman tipleri ile çalışan mikro ve makro modelleme tekniği ile numerik modeli oluşturulmuş, doğrusal olmayan sonlu eleman analizleri, Drucker-Prager kırılma kriterinin belirlemiş olduğu akma yüzeyi kullanılarak LUSAS (sürüm 13) programında gerçekleştirilmiştir.

Arıcan [28] tarafından 2010 yılında yapılan çalışmada, tarihi değeri olan yığma yapıların deprem davranışlarının belirlenmesi amacıyla Isparta'da bulunan yedi tarihi yığma yapı ele alınarak deprem davranışı açısından incelenmiştir. Toplam 42 yığma yapı modeli ile 20 farklı özelliğe sahip deprem kayıtları kullanılarak herhangi bir depremde ortaya çıkabilecek farklı durumlar üzerine çalışılmıştır. Modeller SAP2000 uygulaması kullanılarak oluşturulmuş ve yığma yapıların, zaman tanım alanında dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Bulunan sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilip tartışılmıştır. Tek katlı, iki katlı ve üç katlı modellerin ayrı ayrı yer değiştirme ve taban kesme kuvvetleri ile ilgili grafikleri, görelî kat ötelemeleri ve farklı malzemeler açısından grafikleri verilmiştir. Yapı modellerine ait gerilme şekilleri de görsel olarak hazırlanmıştır. Analiz sonucunda tüm modellerin yer değiştirme ve taban kesme kuvvetleri sayısal değer olarak tespit edilmiş ve grafikler oluşturulmuştur. Analizlerde iki katlı ve üç katlı modeller için her katın ayrı ayrı analizi yapılmış ve görelî kat ötelemeleri tespit edilmiştir. Toplamda 1680 tane analiz gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara bakıldığında bütün yığma

yapıların tuğla malzemeli modellerindeki yer değiştirmelerin doğal taştaki yer değiştirmelere göre çok daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bütün doğal taş modellerde ise taban kesme kuvveti değerleri tuğla modellere göre daha büyük çıkmıştır. Doğal taş yığma yapı modelleri, periyotlarının kısa olmasından dolayı depremlerde daha büyük yatay kuvvetlere maruz kaldıkları için, taban kesme kuvvetlerinin büyük çıktığı gözlemlenmiştir. Taban kesme kuvvetleri büyük olmasına rağmen rijit olmasından dolayı hareket etme kabiliyeti düşük olduğu için, yer değiştirme değerleri tuğla modellere göre daha düşük çıkmıştır. Yapı modellerinin tümüne bakıldığında ve 1. deprem olan Cape Mendico CPM-UP ve 7. deprem olan Landers LCN-UP, 12. deprem olan Morgan Hill CYC285 depremlerinde en büyük ilk üç yer değiştirme ve taban kesme kuvveti değerlerinin elde edildiği tespit edilmiştir. En büyük değerler bu üç deprem arasında gözlemlenmiştir. Depremlerin zelliklerine bakıldığında ise en büyük ilk üç yer ivmelerine sahip depremlerdir.

şeker [29] tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada, cami yapım teknikleri, kullanılan malzemeler ve özellikleri incelenmiştir. Mimar Sinan tarafından yapılan 28 adet caminin üç boyutlu modelleri oluşturularak statik ve dinamik analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre bazı oranlar ve parametreler belirlenerek davranış üzerindeki etkinlikleri irdelenmiştir.

Akdeniz [30] tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada, tarihi yapılarda taşıyıcı sistem elemanları ve kullanılan malzemeler hakkında bilgiler verilmiştir. Tarihi yapılarda oluşan hasarlar, onarım ve güçlendirme ile yığma yapılarda kullanılan modelleme yöntemleri hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Çalışmada 1224 yılında yapılan, tarihi yığma yapı olan Malatya Ulu Camii'nin doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri Bingöl (2003) depremi ivme kayıtları kullanılarak yapılmıştır. Cami, sonlu elemanlar yöntemine göre modellenmiş ve ANSYS uygulaması yardımıyla analizleri yapılmıştır. Sonuçlar grafikler halinde sunularak değerlendirilmiştir. Doğrusal olmayan analizde camide çekme gerilmelerinin fazla olduğu bölgelerde çatlaklara bağlı oluşan hasarların yoğunlaştığı görülmüştür. Çatlakların ekme gerilmelerinin büyük değerler aldığı kemer-duvar birleşim bölgelerinde, duvar birleşim bölgelerinde ve duvar-temel birleşim ara yüzeyinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Minaredeki çatlaklar ise, genelde minarenin orta kısmında

ve minare-cami duvarı birleşim bölgesinde daha çok meydana gelmiştir. Minaredeki hasarlarda devrilme momentinin önemli etkisinin olduğu kanaatine varılmıştır.

Çırak [31] tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada, yağma yapılarda oluşabilecek hasar şekilleri, geçmişte yapılan çalışmalar da irdelenerek ortaya konulmuş ve bu hususta bazı önerilerde bulunulmuştur.

Atabey [32] tarafından 2007 yılında yapılan çalışmada, Sivas'ın Suşehri ilçesindeki yağma yapı olarak yapılmış olan Aşağısarıca İlköğretim Okulu binasının deprem performans analizi 2007 Deprem Yönetmeliği esaslarına göre analitik yöntem ve StatiCAD-Yığma uygulaması ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yapının performansı tespit edilmiştir. Bunun dışında ayrıca StatiCAD-Yığma uygulaması ile analitik hesap sonuçları da karşılaştırılmıştır. Hem analitik yöntem sonucunda, hem de StatiCAD-Yığma uygulaması ile yapılan analizler neticesinde, 2007 deprem yönetmeliği ile yapının göçme durumunda olduğu tespit edilmiştir.

Köseoğlu [33] tarafından 2008 yılında yapılan çalışmada, 16. yüzyıl klasik Osmanlı mimarisinde tek kubbeli hasarlı bir cami üzerinde çalışılmıştır. Kubbede ve taş duvarlarda gözlemlenen aşırı çatlaklar caminin kapatılmasına neden olmuştur. Çalışmanın ana amacı hasarın olası sebeplerinin araştırılmasıdır. Cami siltli-kil üzerine inşa edilmiştir. Su tablasındaki değişime bağlı olarak siltli kil zeminde farklı oturmalara neden olmuştur. Yapının sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Taş duvarlar ise makro modellemeye göre homojen olarak kabuk elemanlarla modellenmiştir. Su tablası değişimi zemin oturması sebebiyle camiye temel mesnetlerinde deplasman olarak uygulanmıştır. Analizlerin sonuçları gözlemlenen gerçek hasarla karşılaştırılmış ve sonlu elemanlar modeli hasarla uyumlu olarak yeniden düzenlenmiştir. Zemin oturmasına bağlı deplasmanları engellemek için sert kaya zemine kadar mini fore kazık uygulaması önerisinde bulunulmuştur. Kubbedeki çatlakların ilerlemesini engellemek için kubbe kaidesi etrafına çelik plaka kasnağı konulması önerilmiştir.

Karakuş [34] tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada, geleneksel yağma yapılarda hasar türleri ve nedenleri, hasar tespit yöntemleri ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi ile onarım ve güçlendirme yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Gür vd. [35] tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada, kâgir yığma duvarların malzeme ve bileşenlerin özellikleri, bunlarla üretilen duvarların yapım şekli ve yapı elemanı olarak özellikleri konularına değinilmiştir.

Can Ve Ünay [36] tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada, yapı mühendisleri tarafından geliştirilen sayısal modellerin ve yapılan hesapların mimarlar, restorasyon uzmanları ve mimarlık tarihçileri tarafından da kolaylıkla anlaşılmasının sağlanması amaçlanmış ve tarihi yapıların yapısal performansı ve dayanımını belirlemek için tavsiyelerde bulunulmuştur.

Durutürk [37] tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada, Isparta ili, Yalvaç ilçesinde bulunan 1912 yılında yapılmış tarihi bir yığma yapı olan Hamidiye Camii'nin, rölövesi esas alınarak, SAP2000 uygulamasıyla statik ve dinamik analizi yapılmış, taşıyıcı sistemin yapısal davranışı tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan çözümler sonucunda basınç ve kayma gerilmeleri açısından en kritik bölgenin +2.00 kotu seviyesi olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni olarak ise bu kotta boşluk oranlarının diğer kotlara nazaran daha fazla olduğu kanaati getirilmiştir. Bütün kotlarda hesaplanan basınç ve kayma gerilmelerinin yönetmelikte verilen emniyet gerilmelerinin altında kaldığı, dolayısıyla binanın deprem kuvvetleri altında güvenli olduğu tespit edilmiştir. Kombinasyonlarda maksimum gerilmelerin, taşıyıcı taş duvarların birleşim bölgelerinde ve kapı- pencere boşluklarının bulunduğu yüzeylerde olduğu belirlenmiştir. Yapının fiziksel özellikleri ve DBYBHY 2007 yönetmeliğinin verdiği sınır şartları ile Düzce (1999) depremi ivme kaydı kullanılarak yapılan statik ve dinamik analizlere bakıldığında yapının rijit taş duvarları, kat yüksekliğinin az oluşu ve üzerindeki çatının ahşap malzemedan yapılmış olmasının yapının günümüze kadar ulaşmasının temel sebepleri olduğu kanaatine varılmıştır. Sonuçlara bakıldığında yapının deprem yönetmeliğine göre güvenli olduğu belirlenmiştir.

Kuruşcu [38] tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada, yığma duvar ve temellerinde zemin-üstü yapı etkileşimini de içine alan 3 boyutlu yapısal analizler yapılmıştır. Yığma yapı duvarlarının sonlu elemanlar yöntemi ile doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Ardından yığma yapılarda zaman içinde kullanılan farklı temel türlerinin yatay yükler etkisindeki duvar davranışına etkisi irdelenmiştir.

Betti ve Galano [39] tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada, tarihi yapıların analizi için disiplinler arası bir yaklaşım sunulmaktadır. İtalya'nın Pescia şehrindeki Vicarious Sarayı üzerinde yapılan statik analizler neticesinde yapının dikey yükler karşısında dayanımının yeterli olduğu ortaya çıkmıştır. Sismik analiz yapılırken uygulanan yaklaşım metodu global statik itme analizi ile basitleştirilmiş kinematik metodunun kombinasyonu şeklinde olmuştur. Analizler neticesinde yapının zayıf bölgeleri tespit edilmiştir.

Ocakcan [40] tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada, kâgir yığma sistemiyle inşa edilmiş kütüphanelerden farklı özelliklerde olanların plan özellikleri, cephe özellikleri, yapım teknikleri ve malzeme özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. I. Mahmut Kütüphanesi yapım teknikleri göz önüne alınarak, yapıda görülen bozulmalar ele alınmış ve 2008-2012 yılları arasında yapılan restorasyon uygulaması hakkında bilgiler verilmiştir.

Lourenço [41] tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada, mikro modelleme ve homojenizasyon tekniklerinden bahsedilmiştir. Şimdiki metotlar gözden geçirilmiştir. Avrupa yönetmeliklerinin (Eurocode 8) bazı düzenlemelere ihtiyacı olduğu kanaatine varılmıştır. Elde edilen sonuçların sadece yapının davranışını anlamada yardımcı olacağı ancak karmaşık yığma yapılarda doğrusal olmayan analiz yerine kinetik metoda göre limit analizin daha güvenli olduğundan bahsedilmiştir.

Çavuş [42] tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada, restorasyon çalışmalarında yeni malzeme ile geleneksel malzemenin birlikte kullanımından dolayı ortaya çıkan yapısal sorunlar göz önüne alınarak model bir yapı seçilmiş ve SAP2000 uygulamasında sonlu elemanlar yöntemiyle model oluşturularak analizler yapılmıştır. Yapılan bu analizlerle tarihi yapının deprem etkisi altındaki performansı irdelenmiştir.

Erköseoğlu [43] tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada, kuşatılmış ve donatısız yığma yapılar üzerinde gerçekleştirilmiş laboratuvar deneyleri ile üzerinde kaynak araştırması yapılmıştır. Sonrasında Tomazevic'in (1999) önerileri dikkate alınarak üç performans noktalı idealleştirilmiş üç doğrulu kapasite eğrileri tasarlanmıştır. Literatürde yer alan bu performans noktalarına bağlı ampirik denklemler araştırılmış ve deneysel davranışa en yakın sonucu verenleri idealleştirilmiş kuşatılmış ve donatısız yığma yapı davranışını temsil etmek üzere belirlenmiştir. Bu idealleştirilmiş analitik bilgi iki yığma yapı duvar tipinin davranışlarını karşılaştırmak amacıyla oluşturulan parametrik çalışma

kapsamında kullanılmıştır. Parametrik çalışmanın sonucunda kuşatılmış yığma duvarların davranışının donatısız yığma duvarlardan üstün olduğu tespit edilmiştir.

Demirkan [44] tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada, yığma yapılardaki farklı derz kalınlıklarının ve kullanılan taş boyutlarının yapının davranışı üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Derz kalınlığı, taş örme tekniği gibi değişkenlere bağlı olarak yapının izotrop ve anizotrop malzeme tanımları ile analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan kabulün yapıya etkisinin ne ölçüde olacağı hakkında fikir sahibi olabilmek amacı ile izotrop ve anizotrop modellemenin analiz edilen örnek bir yapının analiz sonuçları ile karşılaştırması yapılmıştır. Aynı yapıda derz kalınlığının değişiminin ve taş diziliminde değişik ebatla malzeme kullanımının yapıya etkisi üzerinde de çalışılmıştır. Çalışma sonucunda derz aralarının 1cm yerine 2 cm yapılmasının duvarın elastisite modülüne etkisinin % 20 mertebelerinde, oluşan taban kesme kuvvetine etkisinin ise % 3 mertebelerinde olduğu tespit edilmiştir. Taşıyıcı duvarların izotrop ya da anizotrop modellenmesinin gerek duvar mekanik özelliklerine gerekse yapı analizi sonucu bulunan değerlere etkisinin fazla olmadığı tespit edilmiştir.

Çobanoğlu [45] tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada, Türkiye'deki yığma yapıların malzeme özellikleri incelenmiş ve bu özelliklerin risk değerlendirme metotları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışma için on bina belirlenmiş ve binalar hakkında detaylı bilgi toplamak amacı ile saha çalışması yapılmıştır. Öncelikle bütün binalar için yönetmeliklerde belirtilen yöntemle ön değerlendirme yapılmıştır ve sonuçlar irdelenmiştir. Daha sonra, laboratuvar ortamında sahadan alınan numuneler üstünde aksel basınç, diyagonal çekme ve kayma deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları, DBYBHY'de verilen dayanım değerleriyle karşılaştırılarak incelenmiş ve yeni malzeme özellikleri önerilmiştir. Son olarak, seçilen binaların farklı malzeme özellikleri ve farklı deprem bölgeleri için yönetmeliklerde belirtilen yöntemle detaylı değerlendirmeleri yapılmıştır. Değerlendirme sonuçlarına göre deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkındaki yönetmelikte verilen malzeme özellikleri kullanıldığında hatalı ve güvenli olmayan sonuçların ortaya çıkabildiği gözlemlenmiştir.

Çakıroğlu [46] tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada, yalın ve çelik hasır üzerine polipropilen lifli kuru karışım püskürtme beton uygulaması ile güçlendirilmiş yığma duvarların tersinir düzlem dışı yük altındaki davranışlarının ve performanslarının

karşılaştırılması ve yığma yapıların güçlendirilmesinde polipropilen lifli ve çelik hasır donatılı püskürtme betonun kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu hedef doğrultusunda çalışmada 19 x 9 x 5 cm boyutlarında 2 adet seri halinde ve her bir seride 2 adet numune olmak üzere toplam 4 adet tuğla duvar numunesi hazırlanmıştır. Birinci seri yalın numune olmak üzere, ikinci seri çelik hasır üzerine 5 cm kalınlığında 5 kg/m³ polipropilen lif katkılı ve 2 kg/m³ püskürtme elyafı ilaveli kuru karışım püskürtme beton uygulaması yapılmıştır. 1 cm derz aralığında, şaşırtma örgüsü ile örülerek 220 x 245 cm boyutlarında üretilen tuğla duvarlara düzlem dışı yükleme uygulanıp tersinir yükleme yapılmış ve çalışma kapsamındaki her bir tuğla duvar numunesi için kırılma yükleri, çatlak ve kırılma rölöveleri ve artan yük kademelerinde yer değiştirme okumaları elde edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda; çelik hasır üzerine polipropilen lif katkılı kuru karışım püskürtme beton uygulaması ile güçlendirilmiş numunelerde yalın numuneye göre hem taşıma gücü yükü hem de enerji tüketme kapasitesi açısından artış sağlandığı görülmüştür. Hasır çelik üzerine polipropilen lif katkılı kuru karışım püskürtme beton uygulamasının mevcut yığma yapıların güçlendirilmesinde kullanılmasının hem taşıma gücü yükü hem de enerji tüketme kapasitesi bakımından uygun olduğu tespit edilmiştir. Saygılı [47] tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada, ayırık elemanlar yöntemi ile modellenmiş yığma yapıların doğrusal olmayan dinamik analizi incelenmiştir. 1:10 ölçeğinde yığma bir cami modeli inşa edilmiş ve model üç aşamalı bir program kapsamında, sarsma masası üzerinde test edilmiştir. Testler, sismik izolatör uygulaması yapılmış modelin testleri, modelin kendisinin test edilmesi ve güçlendirilmiş modelin testleri olmak üzere 3 aşamadır. Bu üç aşamanın sonuçları ayırık elemanlar yöntemi ile oluşturulan nümerik modellerin kalibrasyonunda kullanılmıştır. Ayırık elemanlar yöntemi ile oluşturulan ve üç farklı durum için doğrulanan nümerik modellerin gerçek yığma yapıların incelenmesi için yeterince iyi olduğu kanaatine varılmıştır. Daha sonra İstanbul'daki üç adet yığma minarenin dinamik davranışlarının sinüs dalgaları (hız genlik aralığı: 10 cm/s – 100 cm/s; frekans aralığı: 0.1 Hz – 13 Hz) ile gerçek ve simüle edilmiş deprem hareketleri altında incelemesi yapılmıştır. Yapısal hasar oluşumlarının analizi için minarelerde oluşan deformasyonlar ve yapısal sistemdeki enerji dengesi irdelenmiştir. Di Fabio vd. [48] tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada, yığma yapı panellerinin kesme yükü altında davranışı incelenmiştir. Laboratuvar testleri, tarihi yığma yapıların

yapım tekniğine uygun ve aynı malzeme kullanılarak üretilen örnekler üzerinde yapılmıştır. Bu örnekler içlerine özel harçlar enjekte edilerek ve bazı uygulamalar yapılarak güçlendirilmiştir. Numerik simülasyon ve deneysel sonuçlar karşılaştırılarak güçlendirme tekniklerini anlamak için kritik bilgiler elde edilmiştir.

Ekinci [49] tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada, I. Ulusal Mimarlık Dönemi'ne ait beş adet yığma yapının; Çapa Anadolu Öğretmen Lisesi, Gazi İlköğretim Okulu, İstanbul Üniversitesi MSB Binası, Sultan Selim Kız Meslek Lisesi ve Gelenbevi Anadolu Lisesi yapılarının taşıyıcı sistem malzeme özellikleri belirlenerek sayısal analizleri yapılmıştır. Binaların taşıyıcı sistemi olan kâgir elemanların malzeme özelliklerini belirlemek amacı ile sahada kayma deneyi; laboratuvar ortamında ise basınç ve birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Bu sonuçlar değerlendirildikten sonra sayısal analiz yapılmıştır. Yapıların sayısal analizi üç farklı hesap yöntemi ile SAP2000 uygulamasında modal analiz, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve yine Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile birlikte burulma hesapları yapılmıştır. Sayısal hesapların yanı sıra DBYBHY'de yer alan yeni yığma yapıların sağlaması gereken yapısal kuralların söz konusu yapılarda sağlanıp sağlanmadığı belirlenmiştir. Sultan Selim Kız Meslek Lisesi ve Gazi İlköğretim Okulu binalarında yapılan yerinde kayma dayanımı deneylerine göre her bir kat için belirlenen ortalama kayma dayanımı indeksi değerlerinde katlar arasında büyük farklılıklar bulunmamıştır. Çapa Anadolu Öğretmen Lisesi, Gelenbevi Anadolu Lisesi ve İstanbul Üniversitesi MSB yapılarında ise bodrum ve zemin katlarda hesaplanan ortalama kayma dayanım indeksi değerlerinin, normal katlardaki ortalama kayma dayanım indeksi değerlerinden farklı oldukları görülmüştür. İstanbul Üniversitesi MSB, Gelenbevi Anadolu Lisesi, Çapa Anadolu Öğretmen Lisesi ve Sultan Selim Kız Meslek Lisesi binalarının her iki doğrultudaki tüm duvarlarının kesme dayanımının, uygulanan deprem etkileri altında oluşan kesme kuvvetlerini karşılamaya yeterli olduğu bulunmuştur. Yalnızca Gazi İlköğretim Okulu Binası'nda, yığma binanın tüm katlarında her iki doğrultudaki duvarlarının kesme dayanımının, uygulanan deprem etkileri altında oluşan kesme kuvvetlerini karşılamadığı hesaplar sonucunda tespit edilmiştir. İncelenen yapılardan elde edilen sonuçlara göre, Gazi İlköğretim Okulu dışındaki binalar için deneysel olarak elde edilen ortalama kayma dayanım indeksi değerleri, analiz sonucu elde edilen ortalama kayma dayanım değerlerinden daha büyük çıkmıştır. Fakat yapıların

ortak özelliği olan geniş pencerelere sahip olmaları, yapılan analizlerde bu açıklıkların buldukları yerde hasar mekanizmalarının oluşmasına neden olmaktadır. SAP2000 uygulaması ile yapılan değerlendirmelerde tüm binalarda bu açıklıkların bulunduğu bölgelerde duvar düzleminde gerilme yığılmalarının oluştuğu tespit edilmiştir.

Çal ve Şahin [50] tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada, Ortaköy Büyük Mecidiye Camii'nin sayısal modeli oluşturulmuş ve yapısal davranışının değerlendirilmesi amacı ile zaman tanım alanında Kocaeli, Landers ve Northridge depremlerinin ivme kayıtları kullanılarak dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda yapıda oluşan yer değiştirme ve gerilme değerleri elde edilmiştir.

Çal [51] tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada, Ortaköy Büyük Mecidiye Camii'nin sayısal modeli oluşturulmuştur. Yapısal davranışının değerlendirilmesi amacı ile statik ve dinamik analizleri yapılmış ve analiz aşamasından sonra yapının genel davranışı elde edilmiştir. Mevcut yükler ve deprem etkisi altında en fazla zorlanan kesit ve bölgeler tespit edilmiş ve yapının davranışı genel olarak yorumlanarak zorlanan bölgeler ile ilgili değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Tetik [52] tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada, İstanbul'da bulunan Şeyh Süleyman Mescidi SAP2000 uygulamasında modellenmiştir. Statik ve dinamik yükler altında yapının analizi yapılmış ve hasar oluşması beklenen bölgeler tespit edilerek güçlendirme tekniklerine göre önlemler tavsiye edilmiştir.

Hökelekli [53] tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada, tarihi yığma yapı olan Manisa Hafsa Sultan Camii ve minaresi üzerine çalışılmıştır. Yığma yapıların dinamik davranışı, tarihi yapılarda koruma kavramı, tarihi yapıların incelenmesi, yığma yapı malzeme özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler, malzeme modelleme teknikleri, yığma yapıların sayısal olarak modellenmesi ve sonlu elemanlar yöntemine dayalı dinamik formülasyonlar hakkında bilgiler verilmiştir. Yapıların dinamik parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan, deneysel modal analiz yöntemleri, yöntemlerde kullanılan test aletleri ve deneysel yöntemlere ait formülasyonlar verilmiştir. Sonlu elemanlar analizinde kullanılacak yığma duvar malzeme parametreleri ile laboratuvar çalışmaları hakkında bilgiler verilmiştir. Sultan Camii ve minaresinin üç boyutlu sonlu eleman modeli oluşturularak, deneysel ve dinamik karakteristikleri tespit edilmiştir. Sultan Camii Minaresi iyileştirilmiş sonlu eleman modeli kullanılarak doğrusal ve doğrusal olmayan

deprem analizleri yapılmıştır. Teorik ve deneysel yöntemlerle elde edilen doğal frekanslar incelendiğinde arasında %10 civarında bir fark olduğu tespit edilmiştir. Doğal frekanslar arasındaki farkı giderebilmek için deneysel ölçüm verileri dikkate alınarak sayısal model iyileştirilmiştir. Model iyileştirmesi sonucu frekanslar arasındaki fark %1 civarına düşürülmüştür. Sultan Camii iyileştirilmiş ve iyileştirilmemiş sonlu eleman modeli üzerinde zaman tanım alanında doğrusal deprem çözümlemesi yapılmıştır. Kültürel değerleri koruma performans seviyesi göreceli öteleme sınırının ana kubbe tepe noktasında model iyileştirmesinden öncesi 4.5, model iyileştirmesinden ise sonrası 11 kat aşılmakta olduğu tespit edilmiştir. Basınç gerilmeleri Cami girişi üst kemeri bölgesinde duvar gerilme sınır değerlerini 2.1 kat aşmaktadır. Çekme gerilmelerinin Cami girişi üst kemeri bölgesinde duvar gerilme sınır değerlerini 15 kat aşmakta olduğu belirlenmiştir. Minare küp gövde birleşim bölgesinde doğrusal analizi sonucu elde edilen basınç gerilmeleri duvar basınç sınır gerilmesini 13 kat, çekme gerilmeleri duvar çekme sınır gerilmesini 140 kat aşmaktadır. Minare küp gövde birleşim bölgesinde doğrusal olmayan analizi sonucu elde edilen basınç gerilmeleri, duvar basınç sınır gerilmesini aşmamakta, çekme gerilmeleri ise duvar sınır çekme gerilmesini 1.1 kat aşmaktadır. Minare küp-gövde birleşim bölgesinde, doğrusal deprem analizi sonucu elde edilen çekme gerilmelerinin, doğrusal olmayan deprem analizi sonucu elde edilen çekme gerilmelerinden ortalama olarak 130 kat, basınç gerilmelerinin ise ortalama olarak 16 kat daha büyük olduğu görülmüştür. Genel olarak incelendiğinde minarenin özellikle küp gövde birleşim, balkon bölgesinde hasarların oluşacağı beklenmektedir.

Pantò [54] vd. tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada, özgün bir modelleme yaklaşımı ile tarihi bir yığma yapının statik ve sismik yüklemeler altındaki doğrusal olmayan davranışı incelenmiştir. Pantò tarafından önerilen ayırık modelleme yaklaşımı tüm yapının doğrusal olmayan davranışını yakalamayı hedeflemiştir. Yığma yapıların düzlemde ve düzlem dışında tepkilerini simüle etmek için ayırık modelleme yaklaşımı kullanarak daha önce kısmen çalışılmış bir bazilika kilise (büyük kilise) üzerinde çalışılmıştır. Tüm yapı ile elde edilen sonuçlar ve ayırık modelleme yaklaşımı ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Aslan ve Şahin [55] tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada, Mimar Sinan'ın 1550 yılında yapımına başladığı ve 7 senede yapımını bitirdiği Süleymaniye Camii 3 boyutlu

olarak SAP2000 uygulamasında modellenmiş ve farklı depremlerin etkisi altında davranışı incelenmiştir. Modellemede sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış, depremler ise geçmişte yaşanan gerçek deprem kayıtları kullanılarak yapıya etki ettirilmiştir. Analiz sonucunda yapının deprem etkileri altında yapacağı davranışlar elde edilmiş ve yapının depremlerden en çok etkilenen bölgeleri tespit edilmiştir. Sonuçlar neticesinde yapı hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Tarihi yapıların doğal afetler yaşanmadan önce gerekli önlemler alınarak korunması gerekir. Söz konusu yapıların malzeme ve geometrik özelliklerinin bilinmesinin yanında, uygun modelleme teknikleri kullanılarak yapısal analizlerinin gerçekleştirilmesi ve analiz sonuçlarına bağlı olarak gerekli görülen yapıların onarım ve güçlendirilmesinin yapılması gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında Mimar Sinan tarafından yapılan Süleymaniye Camii'nin sonlu elemanlar yöntemi kullanarak, Sap2000 programı ile statik ve dinamik analizleri yapılmış, yapının kendi ağırlığı altındaki ve deprem yükleri etkisindeki davranışı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu etkiler altında yapının zayıf ve kuvvetli olduğu yerler tespit edilmiş böylece güçlü bir depreme maruz kalmadan önce yapının performansı belirlenmeye çalışılmış ve önlem alınması gereken riskli yerlerin tespit edilmesi hedeflenmiştir.

Ayrıca Camii'nin bulunduğu bölgenin yerel zemin koşullarının yapının sismik performansına olan etkisinin incelenmesi ve yaşanmış deprem kayıtlarının oluşturulan zemin modeli kullanılarak yapıya etki ettirilmesi amaçlanmıştır. Bununla birlikte farklı karakteristik özelliklere sahip deprem kayıtları yapıya etki ettirilerek sismik davranışın değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Tarihi yapıların modellenmesinde başta sonlu elemanlar metodu olmak üzere çeşitli yöntemler vardır. Yapılan modellemeleri birbirinden ayıran en önemli özellik ise yapının bünyesinde bulundurduğu malzeme özelliklerini modele yansıtma biçimidir. Kullanılan malzemelerin karakteristik özellikleri deneysel bulgularla yerinde birebir belirlenebileceği gibi, diğer yandan bu karakteristik özelliklerde çeşitli idealleştirmelere

gidilebilir. Malzeme davranışlarını gerçek bir şekilde yansıtmak daha çok zaman ve maliyet gerektireceği gibi ayrıca yapı bünyesinde hasar oluşturma riski de vardır. Tarihi yığma yapıların araştırılmasında teorik malzeme karakteristik değerlerini kullanılarak gerçek yapının frekansları ile model yapının frekansları karşılaştırılır. Frekanslar uyumlu çıktığı takdirde model yapı analiz yapmak amacı ile kullanılabilir.

Ayrıca yerel zemin koşulları, tarihi yapıların dinamik davranışlarının incelenmesinde göz önüne alınmalıdır. İncelenecek olan yapının bulunduğu bölgede yapılan zemin ölçümleri kullanılarak, bölgede seçili bir alan zemin modeli oluşturularak, yapı zemin etkileşimi göz önüne alınabilir. Bununla beraber, deprem istasyonlarından alınan kayıtlar zemin modelinin ana kayasına aktararak zemin büyütmesine bağlı yüzey hareketleri hesaplanabilir ve incelenecek yapıya özgü deprem kayıtları tespit edilerek deprem analizleri yapılabilir. Böylelikle incelenecek olan yapının zemin koşullarına bağlı olarak sismik performansı değerlendirilebilir.

SÜLEYMANİYE CAMİİ HAKKINDA BİLGİLER

2.1 Tarihçesi

Külliyenin¹ merkez konumunda yer alan Süleymaniye Camii, 1550 - 1557 yılları arasında, Mimar Sinan tarafından Osmanlı padişahı Kanuni Sultan Süleyman adına inşa edilmiştir. Osmanlı mimarisinin baş eserlerinden biri olarak kabul edilen Süleymaniye Camii, tarih boyunca depreme karşı dayanımı bakımından üstün bir performans göstererek günümüze kadar pek çok şiddetli depremi başarı ile atlatmıştır.

Yaklaşık 70 dönümlük arazide yer alan, cami ve haziredeki² Kanuni ve Hürrem türbeleri dışında, farklı seviyelerde eğitim veren medreseler, bir hadis okulu, bir tıp medresesi, ilkokul, hastane, misafirhane, Kuran eğitimi yapılan bir yapı, imaret denilen aş evi, kütüphane, hamam, han, Sinan'ın türbesi ve çok sayıda sıra dükkânlar bulunmaktadır. Evliya Çelebi buranın, çevredeki yapılar ile birlikte, "bin kubbe" ile örtülü olduğunu ve üç bin kişinin burada hizmet ettiğini yazar. [56]

Caminin ilk onarımı Sultan IV. Mehmet döneminde 1660 yılında çıkan yangın sonucunda yapılmıştır. Minarelerin kurşun külahları değiştirilmiştir. 1760 tarihinde camide ufak çapta basit onarımlar yapılmıştır. Yine bu tarihte büyük bir yangın olmuş ve ana kubbe zarar görmüştür. Günümüzde devam eden restorasyon çalışmaları sırasında yapılan

¹ "Külliyeye, camii ile birlikte hamam, medrese, mektep, imaret, türbe, kütüphane, aşevi, darüşşifa, kervansaray, çarşı, tekke, zaviye binalarından oluşan yapılar topluluğu" [80]

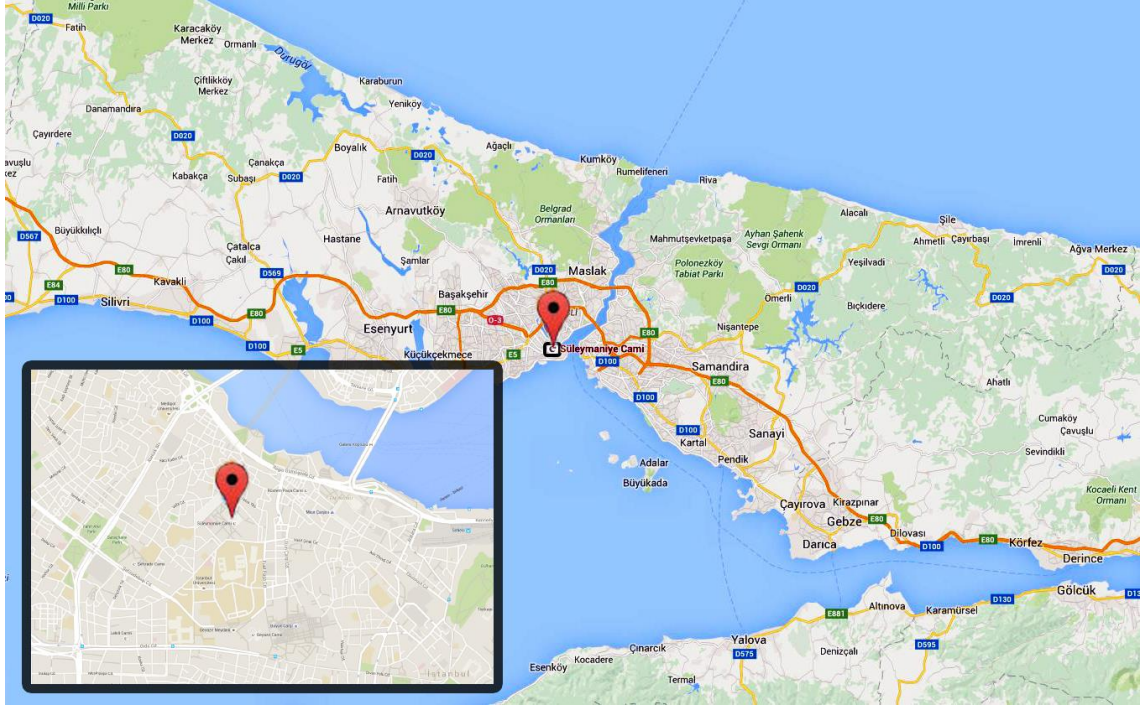
² "Hazîre, külliye, cami, mescit, tekke gibi dini yapıların avlularında yer alan etrafı duvar veya parmaklıkla çevrili mezarlıklara verilen isim" [80]

analizler neticesinde yapının kubbesinin sıva ve boya olarak onarım gördüğü tahmin edilmektedir. 1808 tarihinde ise yeniçeri ayaklanması sırasında yapının minareleri zarar görmüştür. [57]

Çeşitli dönemlerde yapılmış bazı ekler dışında yapı kütsel bütünlüğünü koruyabilmiştir. Bu eklerden en önemlisi mihrap aksının sağında, kadınlar mahfilinin ise altında yer alan kütüphanedir. Bronz şebekeler ile ana mekândan ayrılan kütüphane Sultan 1.Mahmud döneminde 1751-1752 tarihlerinde yapıya eklenmiştir. 1940 yılında ise caminin son cemaat yerine ilişkin kararlar alınmıştır. [57]

2.2 Coğrafi Konumu

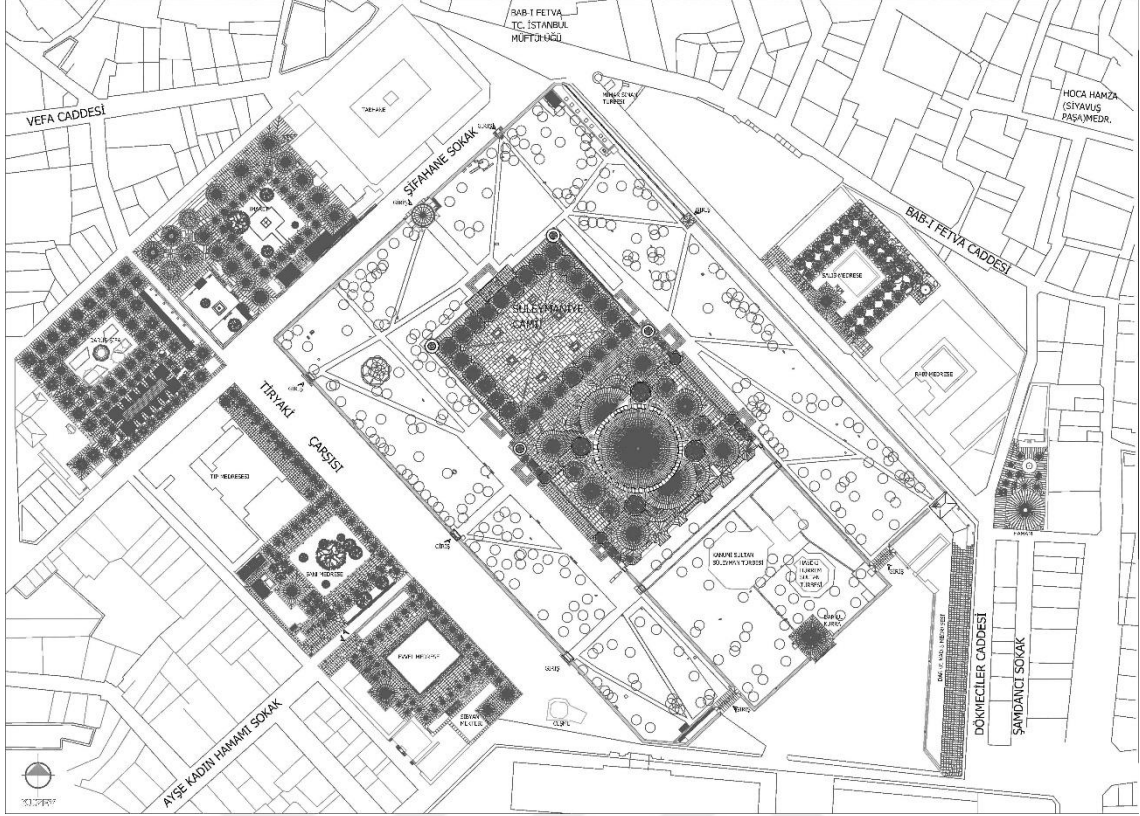
Süleymaniye Camii, Şekil 2.1'de görüldüğü gibi Türkiye'nin İstanbul ili, Fatih ilçesi¹, Süleymaniye mahallesinde, 97. pafta, 377. ada, 6. parselde yer almaktadır² [58]. Harita üzerinde ise 41°00'58" kuzey paraleli 28°57'50" doğu meridyeninde yer alır [59]. Cami'nin vaziyet planı Şekil 2.2'de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.1 Süleymaniye Camii harita üzerindeki konumu [59]

¹ 7 Mart 2008'den önce caminin bulunduğu yer Eminönü ilçesi olarak geçmektedir.

² Ocak 2007 yılında hazırlanan vaziyet planındaki konum bilgileridir.



Şekil 2.2 Süleymaniye Camii vaziyet planı [58]

2.3 Yapısal ve Mimari Özellikleri

Süleymaniye Camii her biri yaklaşık 30'ar ton olarak hesaplanan dört fil ayağı üzerine kurulmuştur. Ana kubbe ve üst kâgir kabuk yaklaşık 1000 ton ağırlığındaki yükü iki yarım kubbeye ve fil ayaklarıyla temele iletirler. Fil ayaklarının her birinin ise 8 000 ton yükü temele ilettiği düşünülmektedir [56]. Bu fil ayaklarının arasında dört ana kemer bulunur. "Ana kemerler gergisiz olarak inşa edilmiştir. Ancak, Süleymaniye'nin orta iç mekânını örten strüktürde, birincil yarım kubbeler ile ikincil yarım kubbeler arasındaki açıklıklardaki daha küçük olan kemerlerde gergi kullanılmıştır." [57]

Fil ayakları ve ana kemerlerin üzerinde caminin ana kubbesi yer alır. Caminin kubbesi tepede bulunan alem kısmı hariç 50,5 metre yüksekliğinde, çapı ise 27,5 metredir. Kubbe kasnağında 32 pencere bulunmaktadır. İki adet yarım kubbe ana kubbeyi yanlardan desteklemektedir. Bu yarım kubbeler de daha küçük ikişer adet kubbeler ile desteklenmektedir. Yarım kubbelerin olmadığı taraflarda ise beşer adet çeşitli boyutlarda kubbeler mevcuttur. Bunun dışında avluda yirmi sekiz adet küçük kubbe vardır [58].



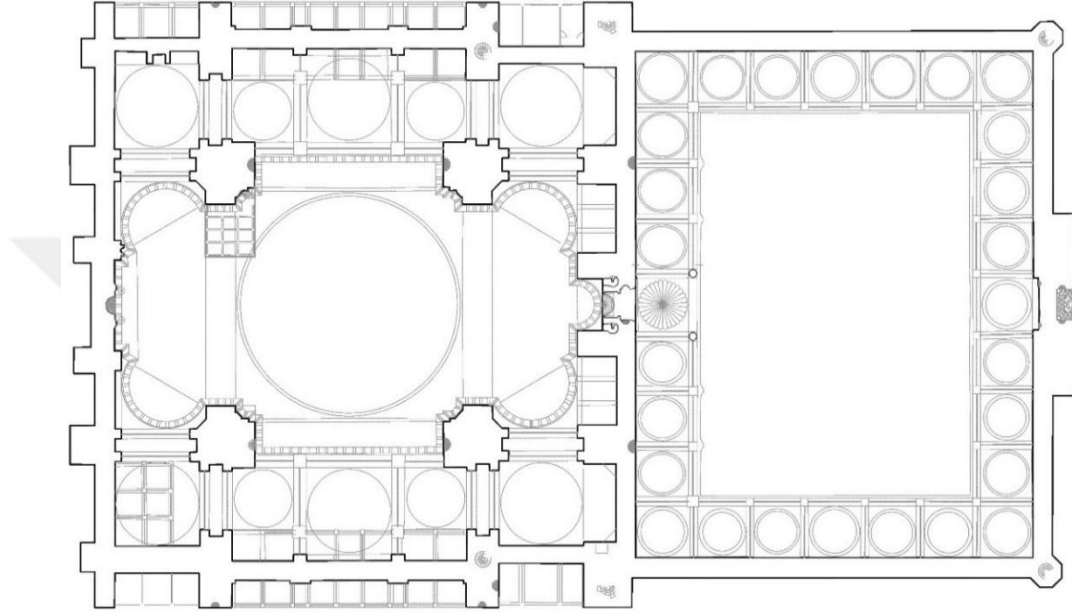
Şekil 2.3 Süleymaniye Camii [60]

Camide dört adet minare vardır. Bunun nedeni Kanuni Sultan Süleyman'ın İstanbul'un fethinden sonraki 4. Osmanlı padişahı olmasıdır. Bu minareler avlunun dört köşesinde konumlanmıştır. Avlunun cami ile bitişik kısmındaki minareler (doğu ve güney minareleri) 76 metre yüksekliğinde olup üçer adet şerefesi vardır. Ana yapıdan uzakta ve diğerlerine göre daha kısa olan minareler (kuzey ve batı minareleri) 55,5 metre yüksekliğinde olup ikişer adet şerefesi vardır. Bu dört minaredeki on şerefesinin de Kanuni Sultan Süleyman'ın Osmanlı'nın onuncu padişahı olduğunu simgelemiştir (Şekil 2.3) [58].

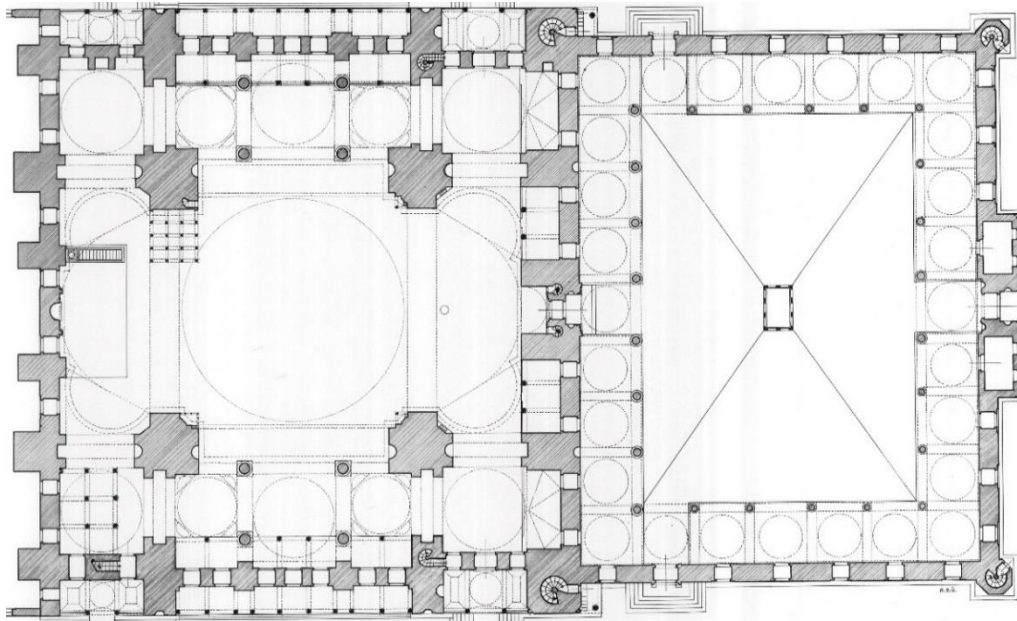
Temel zemini açısından bakıldığında, 1970'li yıllarda yapılan çalışmalar sonucuna göre Süleymaniye Camii'nin şist ve grovaktan oluşan bir ana kaya üzerine oturduğu saptanmıştır. Cami zemininin genel olarak İstanbul'unun pek çok noktasına göre yüksek dayanıma sahip olduğu söylenebilir [61].

Süleymaniye Külliyesi'nin ana yapısı olan Süleymaniye Camii Kâbe eksen doğrultusunda avlu ile birlikte 114,88 m, avlu hariç 64,68 m'dir. Buna dik doğrultuda ise 69,23 m'dir.

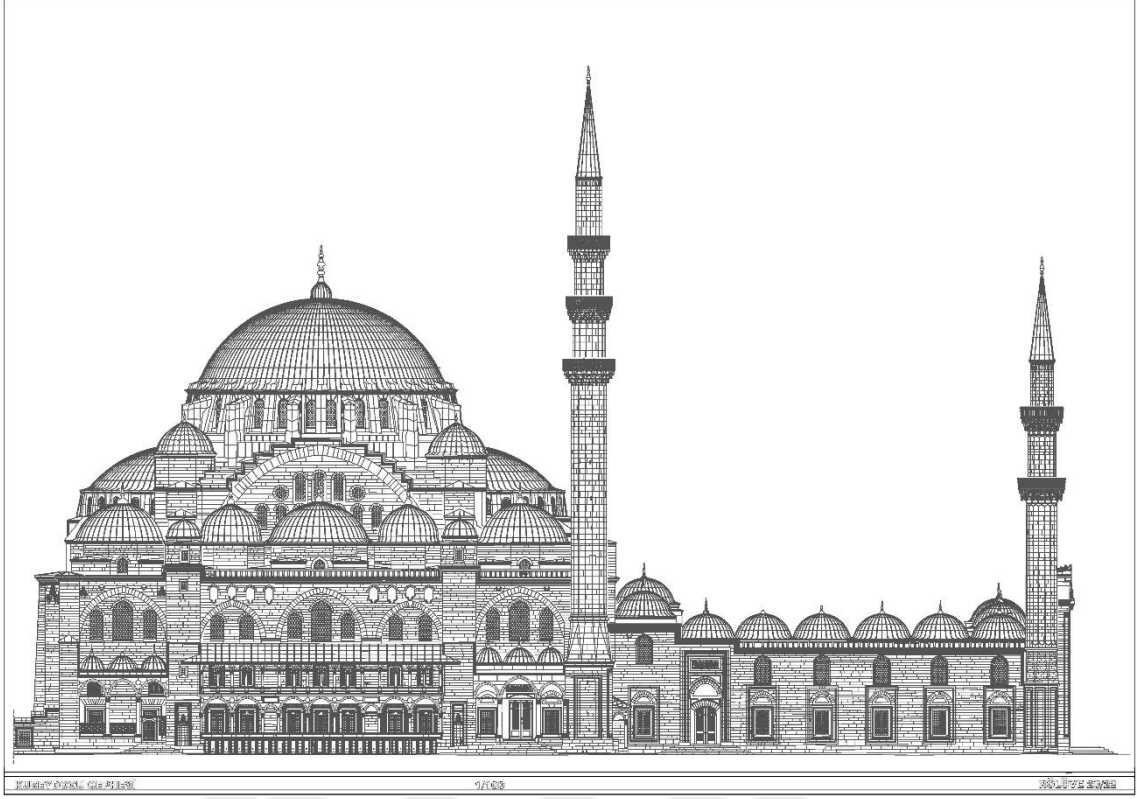
Cami 3997,5 m², avlu ise 3049 m² olmak üzere toplam 7046,5 m²'lik alan üzerine kuruludur. Cami dış hatlarının toplam çevresi 339,5 m'dir. Avlunun dış hatlarının toplam çevresi ise 230,4 m'dir. Bitişik haldeki toplam çevre 444,9 m'dir. Cami, Kâbe eksenine göre neredeyse tamamen simetrik olup buna dik eksende simetriğe yakındır [58]. Yapının zemin planı rölöveleri Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te, kuzey doğu rölövesi ise Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.4 T.C. Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğüne ait 2007 yılında hazırlanmış AutoCAD rölövesindeki zemin planının sadeleştirilmiş hali [58]



Şekil 2.5 Yüksek Mimar Ali Saim ÜLGEN'nin 1940 yılında çizdiği rölövelerdeki zemin planı [62]



Şekil 2.6 Süleymaniye Camii kuzeydoğu cephesi rölövesi [58]

2.4 Kubbenin Restorasyonu

Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından en son 1960'lı yıllarda restore edilen Süleymaniye Camii, ondan sonraki dönemlerde mahalli imkânlarla her hangi bir projeye bağlı olmadan onarılmış ancak yapılan müdahalelerde eski eser kriterlerine dikkat edilmediği için eser bünyesindeki özgün detaylara zarar verilmiştir. Yapılan bu ilk tespitler sonucunda hazırlanan rölöve¹, restitüsyon² ve restorasyon³ projesi, detayları ve raporu ile İstanbul IV Numaralı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu'ndan 14.02.2007 tarih ve 1047 sayılı kurul kararı ile onarıma yönelik karar alınmıştır. Koruma kurulu kararına dayalı olarak da 15.10.2007 tarihinde yer teslimi yapılarak, Süleymaniye Camii restorasyon çalışmalarına başlanmıştır [56].

¹ Rölöve, yapının şimdiki halinin projesine denir.

² Restitüsyon, yapının geçmişteki halinin projesine denir.

³ Restorasyon, yapının yapılmak istenen projesine denir.

Yapının ana kaya üzerine yapılması sayesinde cami zemini yüksek bir dayanım göstermiş ve zeminde sorun tespit edilmemiştir. Restorasyon çalışmalarında yapılan incelemelerde kubbenin geneline yayılmış olan çatlaklar tespit edilmiştir (Şekil 2.7) [61].

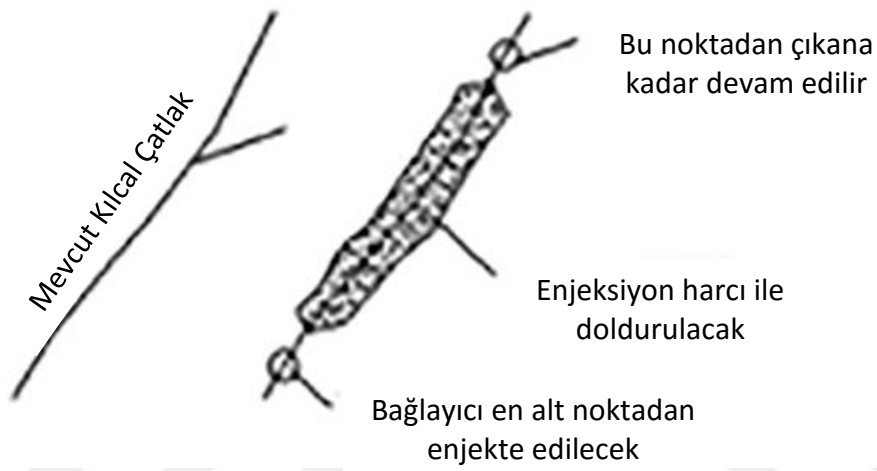


Şekil 2.7 Cami ana kubbesi kesitleri üzerindeki çatlakların gösterimi [61]

Kubbe 2mm kalınlığında kurşun ile kaplı olup, kurşun altında yaklaşık olarak 7 cm kalınlığında bir dolgu tabakası, tuğla kubbe cidarı ve içte 5 cm kalınlığında bir sıva tabakası bulunmaktadır. Kubbe örgüsü tuğla ile oluşturulmuş olup tuğla kalınlığı 4-6 cm derz kalınlığı 4-6 cm arasında değişmektedir. Çatlaklar pencere üst kotundan başlayarak kubbenin çekme bölgesi boyunca devam etmektedir. En büyük çatlak genişliklerinin yaklaşık olarak 10 mm - 20 mm mertebesinde olduğu tespit edilmiştir. Çatlakların büyük bir bölümü SEBU'lar¹ nedeniyle zayıflamış olan bölgelerden geçmekteydi. Kubbe örtüsü kaldırılarak yapılan kontrollerde kubbe dışında da kılcal çatlakların olduğu tespit edilmiştir. Kubbe içinde belirlenen çatlakların derinlikleri 5 cm - 45 cm arasında değişmektedir. Kalınlığı ortalama 95 cm olan tuğla yığma kâgir kubbede izlenen bu tür çatlak oluşumları yapısal karakterde çatlaklardır. Kâgir kubbelerde kabuk davranışı gereği düşey yükler altında çekme bölgesinde, kubbe eteğinden itibaren belli bir kota kadar, radyal çatlak oluşumu beklenebilir. Cami ana kubbesinde de bu davranış tipik olarak gözlenmiştir. Bunun dışında deprem yüklemesi gibi yatay yükler etkisinde ise çatlakların, kubbenin orta bölgelerinde yoğunlaşması beklenmektedir. Kubbedeki çatlak dağılımı incelendiğinde hasarın belli bir bölgede yoğunlaşmayıp, kubbenin geneline yayıldığı gözlenmiş olup, çatlak oluşumunun düşey ve zaman içinde meydana gelmiş önemli deprem etkilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir [61].

¹ Sebu, hem caminin akustiğini sağlayan hem de kubbenin statik açıdan yükünü hafifleten boşluklardır.

Yerinde yapılan incelemelerden kubbe eteğinde ve ortasında saptanan çemberlerde herhangi bir bozulma tespit edilmemiştir. Kubbe ile ilgili hesaplardan demir çemberlerdeki gerilme düzeylerinin değerlendirilmesi sonucunda bu elemanların olabilecek bir depremde kubbenin ağır hasar almasını engelleyici nitelikte olduğu kanaatine varılmıştır. Restorasyon çalışmaları sırasında yapılan hesaplamalara göre kubbede oluşan basınç gerilmeleri emniyet değerlerin oldukça altında kalmaktadır. Bu nedenlerle kubbedeki mevcut çatlakların onarılması, korozyona¹ uğramış gergilerin temizlenmesi dışında bir güçlendirmenin yapılmasına gerek duyulmamıştır [61].



Şekil 2.8 Kılcal Çatlaklar İçin Onarım Detayı [61]

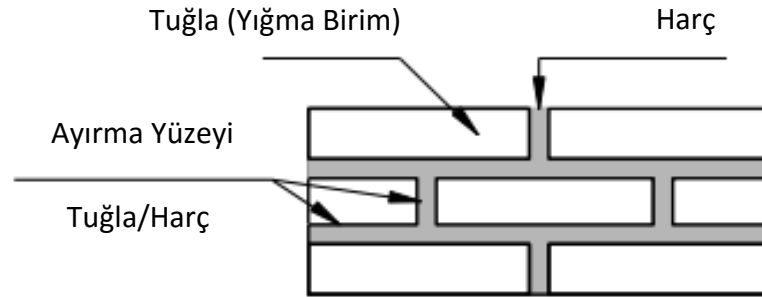
Kubbede belirlenen çatlakların onarımı için çatlak genişliğine bağlı olarak iki farklı onarım yapılmıştır. Çatlakların kılcal olması durumunda (çatlak genişliği 1cm'den küçük) yapının mevcut harcına benzer özelliklerdeki malzemenin 1-2 bar gibi düşük basınç altında enjeksiyonuyla² onarımı yapılmıştır (Şekil 2.8). Çatlakların orta genişlikte olması durumunda ise (çatlak genişliği 4 cm'ye kadar) çatlakın paslanmaz çelik dış elemanlarıyla dikildikten sonra yapının mevcut harcına benzer özelliklerdeki malzemenin 1-2 bar gibi düşük basınç altında enjeksiyonuyla onarımı yapılmıştır [61].

¹ Korozyon, metal veya metal alaşımlarının oksitlenme veya diğer kimyasal etkilerle aşınma durumudur.

² Enjeksiyon, kanal veya boşluk içine genellikle enjektör aracılığı ile sıvı verme işlemidir.

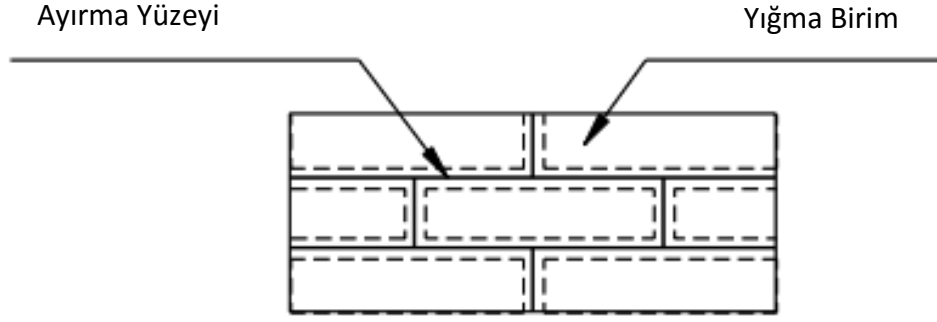
KARMAŞIK YAPILARIN MODELLENMESİ**3.1 Nümerik Modelleme Teknikleri**

Genel olarak yığma yapıların nümerik yaklaşımlarında yığma birim ve harç ayrı ayrı modellenerek mikro modelleme, basitleştirilmiş mikro modelleme ya da bütün malzemeler homojenize edilerek makro modelleme yapılabilir (Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3). Basitlik ve gerçeğe yakınlık bakımından belirtilen modelleme yöntemlerinden birisi tercih edilebilir. Genelde mikro modelleme yığma duvarlar veya yapının belirli bir bölümünün modellenmesinde, makro modelleme ise tüm yapı sisteminin modellenmesinde kullanılır.



Şekil 3.1 Mikro modelleme [63]

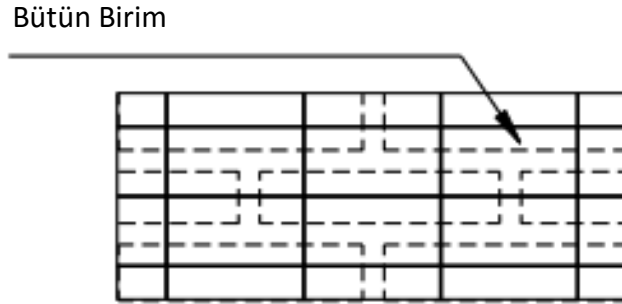
Mikro modellemede, yığma birim ve harcın malzeme özellikleri ayrı ayrı değerlendirilir. Bu modelleme tekniği genellikle yapı sisteminin bir bölümünün çözümü için kullanılmaktadır. Tam yapılmış bir mikro model yapının bütün sorunlarını içermelidir. Birleşim yerlerindeki kaymalar, birimlerdeki çatlaklar ve kırılmalar gibi birçok sorun dikkate alınarak modellenmelidir.



Şekil 3.2 Basitleştirilmiş mikro modelleme [63]

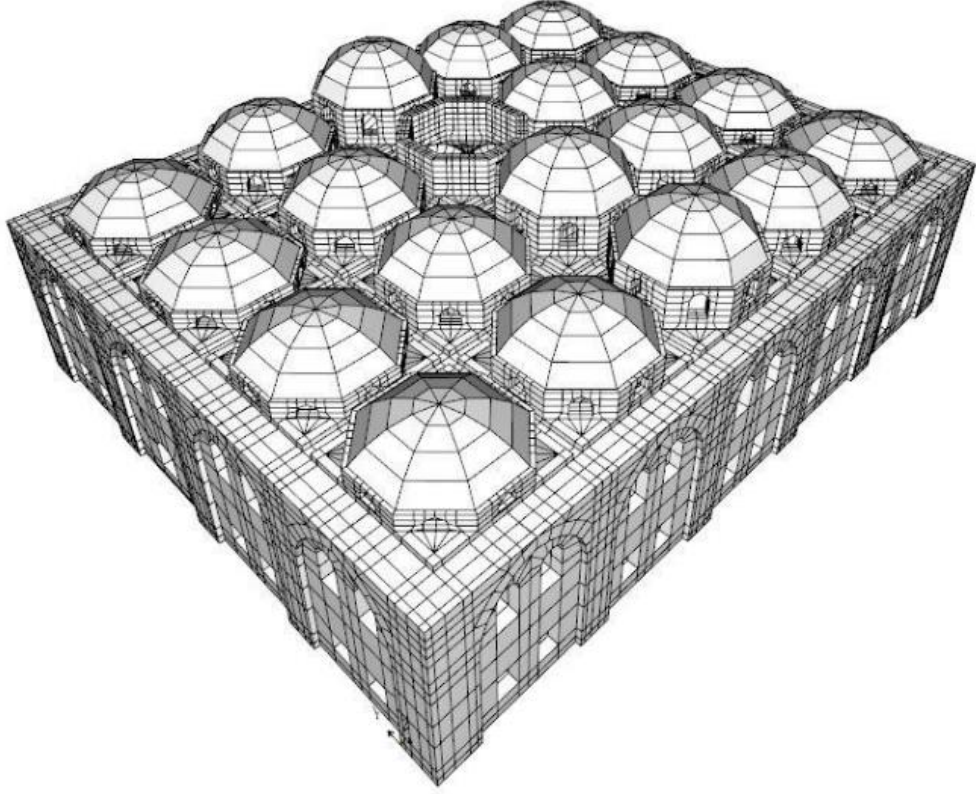
Basitleştirilmiş mikro modellemede, yığma birimler harç tabakasının kalınlığının yarısı kadar genişletilir. Harç tabakası ihmal edilir ve yığma birimler birbirlerinden ara yüzey çizgileriyle ayrılır. Sistemde meydana gelmesi muhtemel çatlakların bu ara yüzey çizgilerinde meydana geleceği kabul edilir.

Makro modelleme ise, yığma birim, harç vs. arasında ayırım yapmaksızın, yapı elemanını kompozit¹ olarak kabul eder ve bu malzemelerin ortak özelliğini yansıtarak eşdeğer bir malzeme modeli meydana gelir. Bu yöntem, büyük yapı sistemlerin modellenmesinde genelde tercih edilmektedir. Hem modellemenin kolaylaşarak daha kısa sürede tamamlanmasını hem de analiz kısmında daha hızlı sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır [41], [64]. Şekil 3.4'te Bursa Ulu Camii'nin makro modelleme yaklaşımı ile oluşturulmuş 3 boyutlu modeli gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Makro modelleme [63]

¹ Birbirinden ayrı iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesi ile imal edilen malzeme türü.

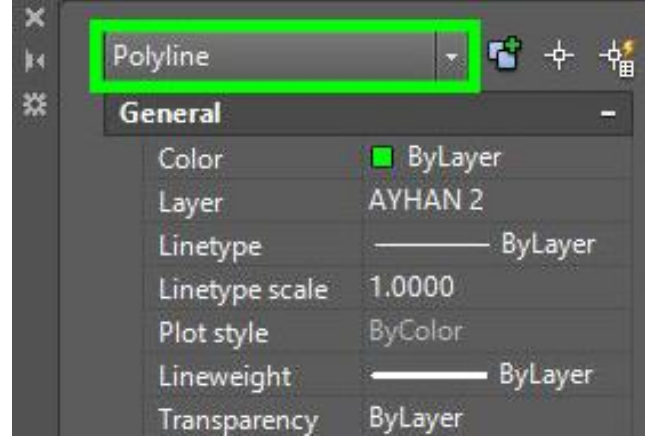


Şekil 3.4 Bursa Ulu Camii makro model örneği [65]

3.2 Karmaşık Yapıların Modellenmesi

Bu bölüm inşaat mühendisleri tarafından yaygın olarak kullanılan AutoCAD ve Sap2000 programları kullanılarak karmaşık geometriye sahip tarihi yığma yapıların 3 boyutlu makro modellemelerinin oluşturulması için bir yaklaşım sunulmaktadır. Buna göre AutoCAD ilse Sap2000 etkileşimli olarak kullanılarak AutoCAD'den Sap2000'e nesnelerin aktarılması sağlanacaktır.

Öncelikle Sap2000 programına AutoCAD rölöve dosyaları üzerinden aktarılmak istenilen nesnelere belirlenirler. Ardından nesnelerin türünün Sap2000 için uygunluğu kontrol edilir. Bunun için AutoCAD üzerinden *"PROPERTIES (Kısa yol: MO)"* komutu çalıştırılarak gerekli kontroller yapılabilir. Açılan pencere seçilen nesnelerin özelliklerini gösterecektir. Pencerenin en üst kısmında (Şekil 3.5) nesnenin türü yazılıdır. Aktarılmak istenilen nesnelere ile Sap2000 programının kabul ettiği nesne türlerinin aynı olup olmadığı kontrolü yapılır. Çizelge 3.1'de gösterildiği şekilde nesnelerin türü uyuşmuyorsa AutoCAD üzerindeki nesnelere uygun türe çevrilebilir. Aksi takdirde rölöve üzerinde ana hatlar çizilip Sap2000'e aktarılır ve bu çizgiler yardımı ile Sap2000'de modelleme yapılır. Ardından yardımcı çizgilerin işlevi bittiği için Sap2000 modelinden silinirler.



Şekil 3.5 AutoCAD uygulamasındaki PROPERTIES penceresi [66]

3.3 AutoCAD Üzerinden Sap2000'e Nesne Aktarma

Bütün nesne türleri için katman oluşturmak daha düzenli ve daha kolay bir çalışma alanı sağlayacaktır. Katman oluşturmak için “LAYER (Kısa yol: LA)” komutu ile katman penceresi açılır. “NEW LAYER (Kısa yol: ALT+L)” butonu tıklanarak yeni katman oluşturulur.

Çizelge 3.1 AutoCAD'den Sap2000'e aktarılabilen nesnelere [67]

	<i>DXF Nesnesi</i>	<i>Sap2000 Nesnesi</i>
1	Point	Joint ¹
2	Line	Frame ²
3	Point	Link (Tek Noktalı)
4	Line	Link (Çift Noktalı)
5	3D Face	Shell ³
6	Polygon Mesh	Solid ⁴

¹ Türkçede birleşme yeri, eklem yeri gibi anlamlara gelir. Sap2000 programında noktaları temsil eder.

² Türkçede çerçeve anlamına gelir. Sap2000 programında çizgi şeklindeki çubuk elemanları temsil eder.

³ Türkçede kabuk anlamına gelir. Sap2000 programında AREA adıyla da geçer. İki boyutlu içi dolu geometrik şekilleri temsil eder. Genelde üçgen veya dörtgen şeklinde kullanılırlar.

⁴ Türkçede katı anlamına gelir. Sap2000 programında içi dolu üç boyutlu geometrik şekilleri temsil eder.

3.3.1 Nokta Nesneler

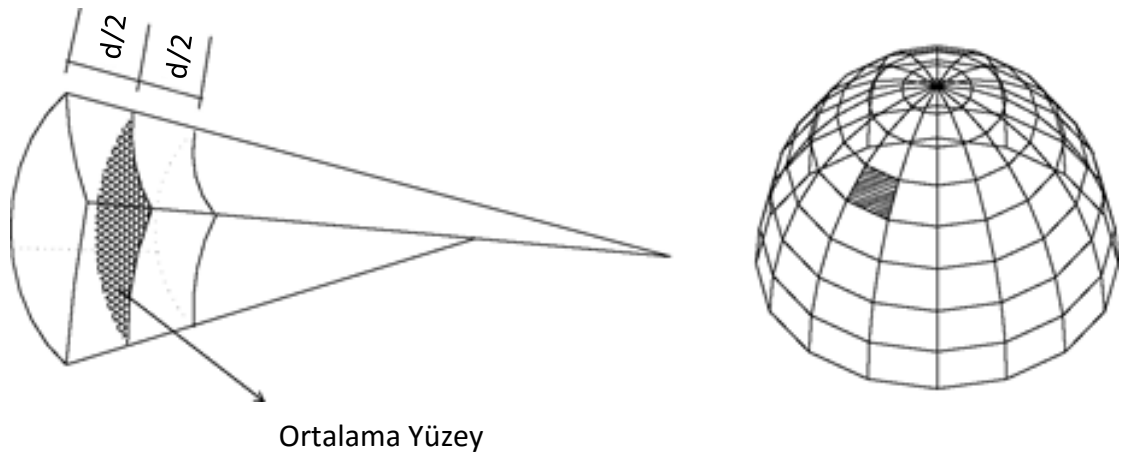
Nokta nesnelerin (joint), köşe ve uç noktaları dışında özellikle eklenmek istenilen bir nokta yok ise tanımlanmasına gerek yoktur. Sap2000 her nesnenin köşe ve uçlarında otomatik olarak oluşturacaktır. El ile düğüm noktası eklenmek istenir ise AutoCAD üzerinden “*POINT (Kısa yol: PO)*” komutu kullanılarak düğüm noktası oluşturulabilir. Eğer Sap2000 üzerinden düğüm noktası oluşturulmak istenir ise de “*Üst Menü > Draw > Special JOINT*” yolu kullanılarak düğüm noktası oluşturulabilir.

3.3.2 Çubuk Nesneler

Çubuk nesneler (frame), kolon ve kiriş gibi nesneleri temsil etmek için kullanılırlar. AutoCAD üzerinden “*LINE (Kısa yol: L)*” komutu ile oluşturulurlar. AutoCAD rölöve dosyası üzerinde hali hazırda çizilmiş olan çizgiler gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra Sap2000’e aktarılabilir. Eğer çizgiler AutoCAD’de *POLYLINE* olarak çizilmiş ise “*EXPLODE (Kısa yol: X)*” komutu ile *LINE* olarak parçalara ayrılabilir ve aktarılabilir hale getirilebilirler.

3.3.3 Kabuk Nesneler

Kabuk nesneler (shell), genelde yapının döşeme, duvar gibi kısımlarını simüle etmek için kullanılırlar (Şekil 3.6). İki boyutlu olarak çizilirler. Üçüncü boyut olan genişlik değeri Sap2000 üzerinden “*Üst Menü > Define > Section Properties > Area Sections > Modify/Show Section > Thickness*” yolu kullanılarak ayarlanır.



Şekil 3.6 Gerçek yapının kabuk olarak çizilmesi [68]

AutoCAD de ki *3D FACE* nesneleri Sap2000'e kabuk nesne olarak aktarılırlar. AutoCAD uygulamasında *3D FACE* elde etmenin çeşitli yolları vardır. "*3DFACE*" komutu ile tek tek yüzeyler çizilebilir. Kolay çizilebilen yüzeyler dışında bu şekilde çizmek zor olacaktır.

Başka bir yöntem de aktarılmak istenilen yüzeyin etrafını "*POLYLINE (Kısa yol: PL)*" komutu ile çizmektir. *POLYLINE* çizgisi kapalı olmak zorundadır. Bu nedenle son çizgi "*CLOSE (Kısa yol: C)*" komutu ile çizilmelidir. Ayrıca *PROPERTIES* penceresinde *Misc* sekmesinin içinde bulunan *Closed* yazısının yanındaki *NO* seçeneği *YES* olarak değiştirilerek de *POLYLINE* kapatılabilir. Kapalı *POLYLINE* seçilip "*CONVTOMESH (Alternatif komut: MESHSMOOTH)*" komutu girilir. Açılan pencereden *Create Mesh* seçeneği seçilerek mesh nesnesine çevrilir. Mesh nesnesi seçilerek *PROPERTIES* penceresi açılır. *Smoothness* yazısının yanında *Level*'ler mevcuttur. *Level*'leri artırmak elde edilecek *3D FACE* sayısını arttırır. Eğer tek parça halinde *3D FACE* isteniyor ise *NONE* seçilmelidir. Buna rağmen birden fazla *3D FACE* oluşabilir. Bunun nedeni ise mesh yapmanın nesneyi dörtgen ve üçgenlere bölmek demek olmasıdır. Çizilen *POLYLINE* dörtten fazla kenara sahip ise birden fazla *3D FACE* oluşacaktır. Mesh nesnesi "*EXPLODE (Kısa yol: X)*" komutu ile *3D FACE* parçalarına bölünür.

Bir diğer yöntem ise *POLYLINE* nesnelere "*REGION (Kısa yol: REG)*" komutu ile bölgeye çevirmektir. Bölge haline gelen nesnelere birbirinden çıkartılabilir hale gelirler (Örneğin duvardaki pencere boşluğu gibi). "*SUBTRACT*" komutu ile önce kalması istenilen bölge seçilir ardından çıkartılması istenilen bölge seçilerek bölgeler arası çıkarma işlemi uygulanır. Kalan bölge "*CONVTOMESH (Alternatif komut: MESHSMOOTH)*" komutu ile mesh haline getirilir. *PROPERTIES* penceresindeki *Smoothness* ifadesi *NONE* yapılarak oluşan bozulma ortadan kaldırılabilir. Nesnenin dış hatları aynı kalacaktır ama iç kısımlar dörtgen ve üçgenlere bölünmüş olacaktır. Mesh nesnesi "*EXPLODE (Kısa yol: X)*" komutu ile *3D FACE* parçalarına bölünür.

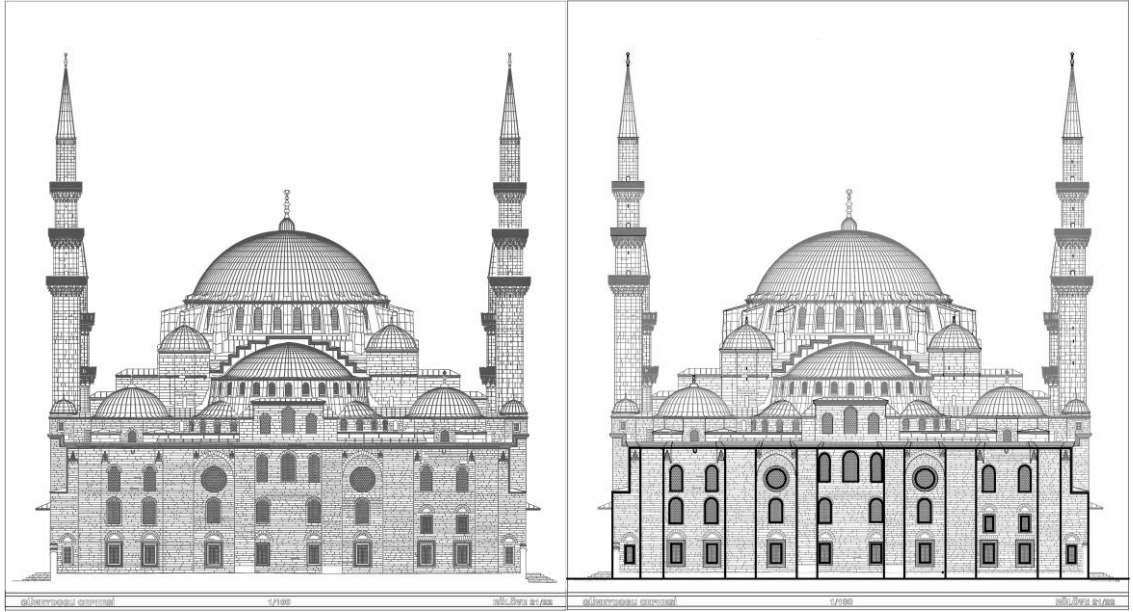
3.3.4 Katı Nesnelere

Sap2000'de katı nesnelere (solid) 3 boyutlu bütün nesnelere modellemede kullanılabilir. AutoCAD uygulaması ile *POLYGON MESH* oluşturmak için "*3DMESH*" komutu kullanılır. AutoCAD ile çizilen katı nesnelere Sap2000 programına aktarılamamaktadır. *POLYGON MESH* çizimi AutoCAD ile zor olduğundan bu yöntem tavsiye edilmemektedir.

3.4 Süleymaniye Camii'nin Modellenmesi

3.4.1 AutoCAD ile Şablon Oluşturulması

AutoCAD projesi üzerinden cephelerin ve zemin planların ana hatları *POLYLINE* ile çizilir (Şekil 3.7). Karmaşıklığı azaltmak için yeni bir AutoCAD dosyası açılarak yeni projenin içine bu çizgiler kopyalanabilir. “*3DROTATE*” komutu ile bütün cepheler ve zemin planı kendi eksenine 3 boyutlu olarak çevrilip ve zemin planı üzerine yerleştirilirler (Şekil 3.8). Bütün cepheler ve zeminin ayrı ayrı katmanlara tanımlanması daha elverişli bir çalışma ortamı sağlayacaktır. Sap2000’e aktarılmak istenilen kısımlar AutoCAD uygulamasında önce “*EXPLODE (Kısa yol: X)*” komutu ile *POLYLINE* nesnelere *LINE* nesnelere dönüştürülmelidir. AutoCAD projesi DXF formatında kayıt yapılarak Sap2000 uygulamasına geçilebilir.



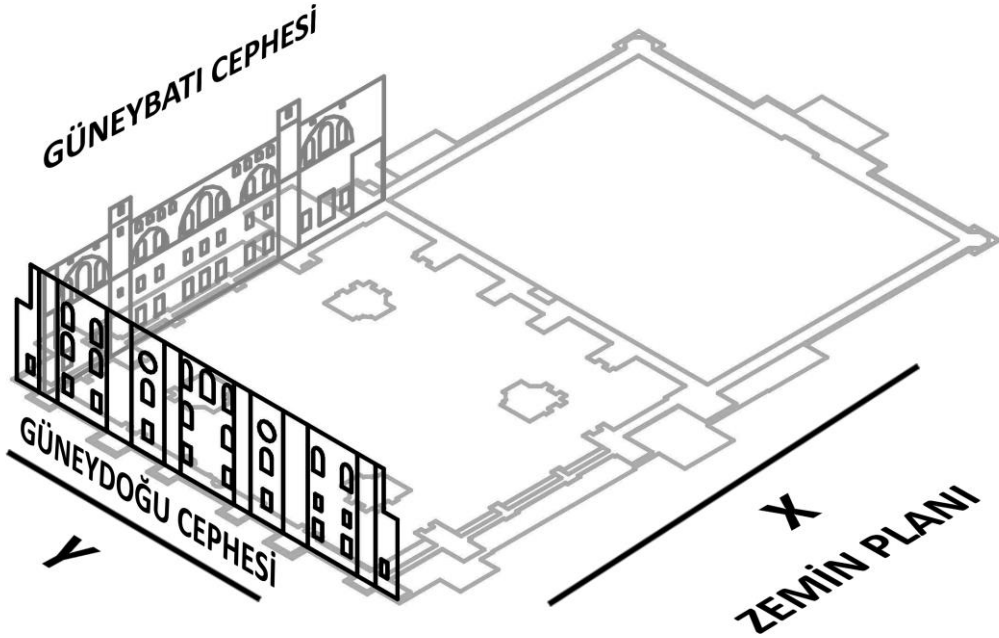
Şekil 3.7 Güneydoğu cephesinin dış hatlarının AutoCAD uygulaması ile çizilmesi [58]

3.4.2 Sap2000 ile Model Oluşturulması

Sap2000 üzerinden “*Üst Menü > File > Import > AutoCAD .dxf File*” seçeneği ile AutoCAD dosyaları içeri aktarılabilir. Karmaşıklığı önlemek için cephelerin birer birer aktarılması daha iyi olacaktır. Global Z eksenini AutoCAD projesi üzerinden *3DROTATE* yapılarak ayarlandığı için Z seçeneği seçilmelidir. AutoCAD projesinde çizimlerin hangi birim ile çizildiği önemlidir. Bu aşamada Süleymaniye Camii'nin AutoCAD projesinde metre ile çizim yapıldığı için içeri aktarmalar aynı şekilde metre seçilerek yapılmıştır. Son olarak

açılan pencerede aktarılmak istenilen nesnelere Çizelge 3.1'deki şekilde eşleştirilerek aktarım işlemi tamamlanır (Ayrıca bkz: Şekil 3.14).

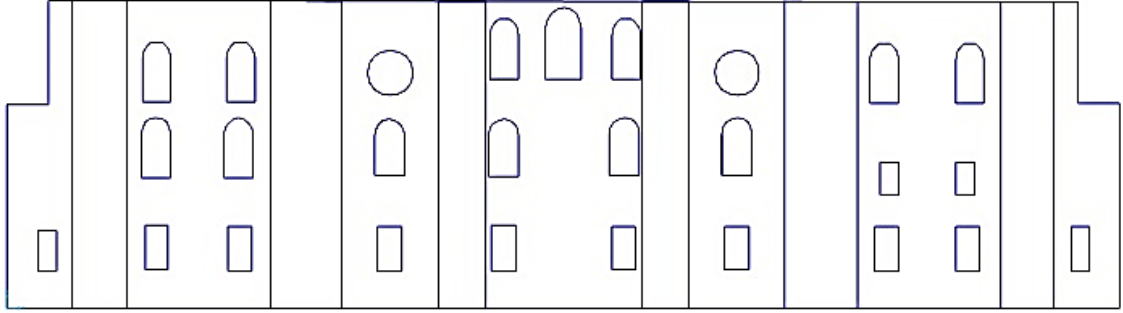
Süleymaniye Camii projesinde modellemenin tamamı Sap2000 üzerinden yapılmıştır. Modellemeye yardımcı olması için sadece ana hatlar AutoCAD uygulaması üzerinden çizilmiş ve Sap2000'e yardımcı çizgiler olarak kullanılmak amacıyla aktarılmışlardır (Şekil 3.9). Başka projelerde, proje elverişli ise daha fazla kısım AutoCAD üzerinden modellenip aktarılabilir. Eğer aktarma işlemi sonucu eksik veya hatalı bir aktarım olduysa Çizelge 3.1'de verilen AutoCAD nesnelere doğru şekilde ayarlanmış olduğu kontrol edilmelidir.



Şekil 3.8 Örnek zemin planı ve cephelerin ana hatlarının çizimi

Ana hatlar yardımıyla kabuk nesnelere el ile hatların içine çizilmelidir (Şekil 3.10). Burada dikkat edilmesi gereken olabildiğince şekil ile uyumlu bir biçimde kabukları parça parça ve birbiri ile de uyumlu şekilde çizmektir. Amaç en iyi mesh şeklini elde edebilmektir. Uyumsuz ve zor yerleri düz kabul edip kabuklar çizilmeye devam edilebilir. Zor yerlerde mesh işleminden sonra el ile düzeltmeler yapılmalıdır. Bütün cephenin kabukları çizildikten sonra kabukların hepsi seçilerek "Üst Menü > Edit > Edit Areas > Divide Areas" seçeneğinden istenilen mesh ayarları yapılmalıdır. Süleymaniye Camii projesinde yapı çok büyük olduğundan 1,5 metrelik mesh boyutları tercih edilmiştir. Bunun için açılan

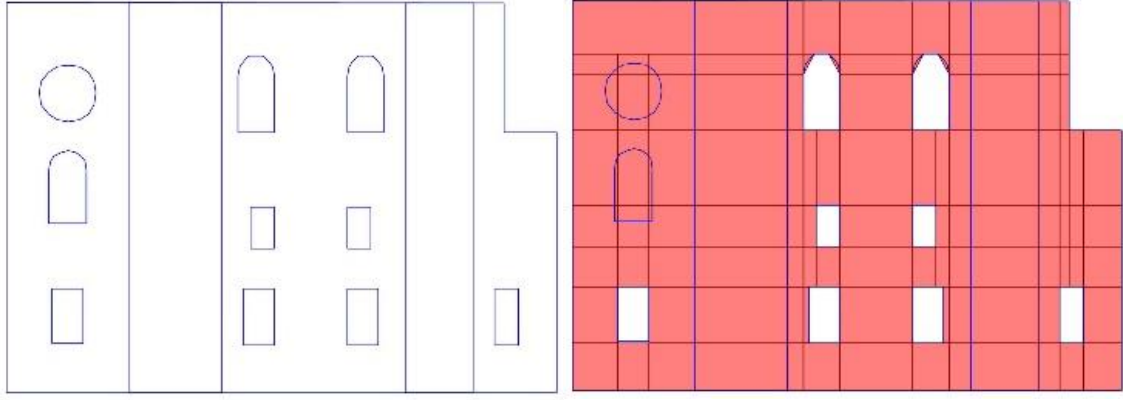
mesh penceresinde “*Divide Area into Objects of This Maximum Size*” seçeneği seçilmelidir. “*Along Edge from POINT 1 to 2*” yatay mesh uzunluğu, “*Along Edge from POINT 1 to 3*” dikey mesh uzunluğudur. Bu projede ikisine de 1,5 metre uzunluk değeri girilmiştir. Seçilen alanların hepsi 1,5 m. x 1,5 m. maksimum uzunluklarda olan kabuklara bölünmüştür. Bu işlemden sonra birleşmeyen noktalar tespit edilip düzeltilmelidir (Şekil 3.11 ve Şekil 3.12). Düz geçilen yerlerde ise silinmesi gereken yerler silinir.



Şekil 3.9 Sap2000'e çubuk eleman olarak aktarılan yardımcı çizgiler

Silinen yerlerin etrafı el ile çizilmelidir. Bunun için “*Üst Menü > Draw > Draw Poly Area*” seçeneği seçilir. Burada dikkat edilmesi gereken el ile çizilen kabukların saat yönünün tersine ve en fazla 4 kenarlı olacak şekilde çizilmesidir. Bunun nedeni meshlenmiş nesnelere üçgen ve dörtgenlerden oluşmasıdır. Çizim yönü ise çizilen kabukların hangi tarafının çizildiğini belirler. Eğer çizilen kabuk diğer kabuklardan farklı renkte görünüyorsa ilk önce “*Üst Menü > View > Refresh View (Kısa yol: Ctrl+Shift+V)*” seçeneği ile ekran görüntüsünü yenilemek denenmelidir. Eğer halen çizilen kabuk diğer kabuklardan farklı renkte görünüyorsa o zaman çizilen kabuğun görünen yüzeyi diğer kabukların görünen yüzeyinin ters tarafıdır. Bu durumda kabuk çizimleri önceki çizim yönünün tersi yönünde (saat yönünde) yapılabilir. Çizilen kabukların bütün yüzey boyunca aynı tarafa bakması önemlidir. Dikkat edilmediği takdirde kabuklar, *EXTRUDE*¹ edilirken katı nesnelere çevirmede sorun yaşanabilir.

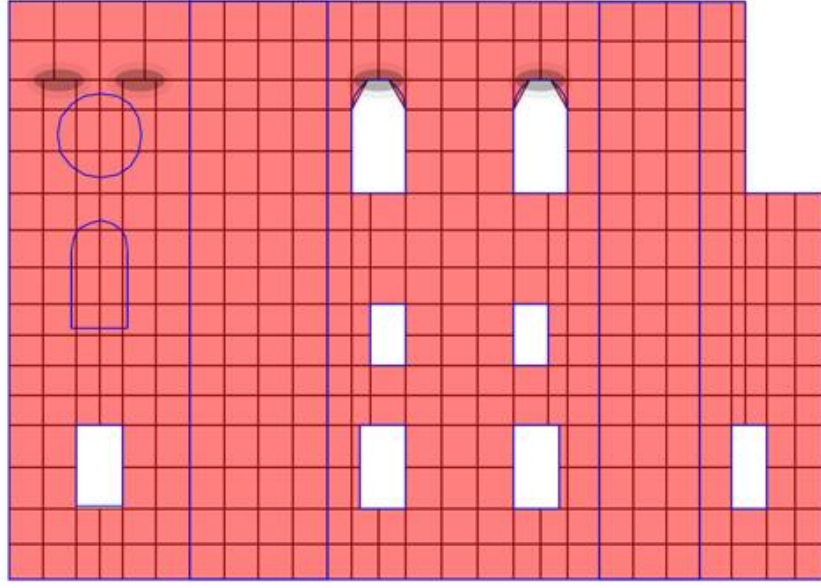
¹ Extrude, iki boyutlu bir nesneyi yüzeyi doğrultusunda genişleterek üç boyutlu nesne haline getirmektir.



Şekil 3.10 Güneydoğu cephesi sağ kısmın yardımcı çizgiler aracılığı ile çizilmeden önceki ve sonraki hali

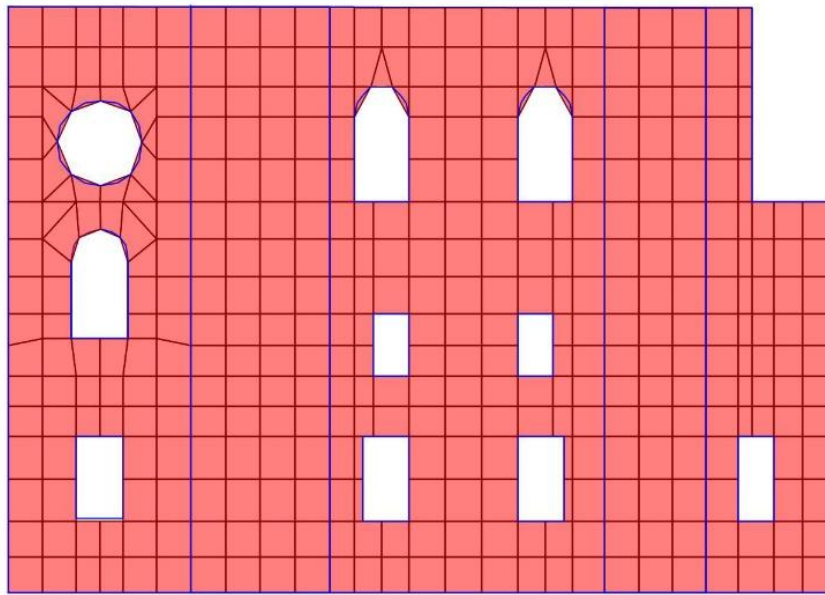
“Üst Menü > Edit > Extrude > Extrude Areas to Solids” seçeneği ile kabuklara kalınlık verilerek katı nesnelere çevrilebilirler. “+3 Dir Thickness” kabukların ön tarafına doğru kalınlık vererek katı nesnelere çevirir. “-3 Dir Thickness” ise kabukların arka yüzeyine doğru kalınlık verir. Çizilen bütün kabukların aynı yüzeye doğru bakmalarının önemi bu noktada çıkmaktadır. Tek taraflı EXTRUDE yapılmak istenirse öteki tarafa 0 yazılması yeterlidir. Thickness kısmına toplam genişletilmek istenilen değer yazılır. Number kısmı ise toplam genişlik miktarının kaç bölünerek katı nesneye çevrileceğini ifade eder. Yani genişlik ekseninde katı nesne parçalara bölünerek oluşturulur. Bu da bir biri ile uyumlu mesh yapmak için önemli bir seçenektir.

Tüm cephe boyunca farklı kalınlıklarda olan yerler olabilir. Bu gibi durumlarda mesh kalınlıklarını olabildiğince birbirine denk getirmek gereklidir. Daha kalın olan yüzeyler için kabuklar katı nesneye çevrilmeden önce “Üst Menü > Edit > Move (Kısa yol: CTRL+M)” ile diğer kabuklardan daha ileri veya geri taşınarak bu kabuklara çift taraflı EXTRUDE uygulanabilir (Şekil 3.13). Böylece oluşan katı nesnelere daha düzgün yerleşecek ve sonuçlar daha gerçekçi çıkacaktır.



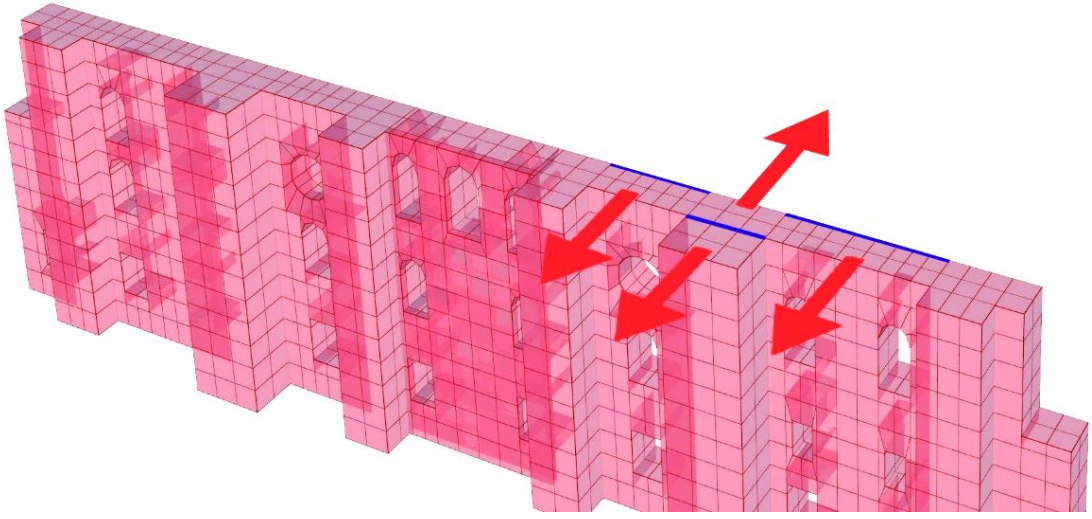
Şekil 3.11 Meshlemeden sonraki sorunlu yerlerin tespiti

Bütün proje için aynı prosedür tekrarlanır. Modelin üstü kapatılmadan önce iinin yapılması ilerleyen safhalarda zorluk yaşamamak için önemlidir. Bu noktadan sonra modelleme daha da karmaşıklaşacağı için yapılacak bütün içeri aktarma işlemlerini modelden uzakta bir yere aktarmak ya da aktarmadan hemen sonra “Üst Menü > Edit > Move (Kısa yol: CTRL+M)” ile modelden uzağı taşımak kolaylık sağlar. Aktarılan yapının ana hatlarını temsil eden yardımcı çizgiler aynı prosedür ile önce kabuk nesnelere sonra katı nesnelere çevrilir ve “Üst Menü > Edit > Move (Kısa yol: CTRL+M)” ile modeldeki yerine yerleştirilir.



Şekil 3.12 Meshten sonra sorunları düzeltilmiş kabuklar

Taşıma işlemi yapılırken model üzerindeki birleşim yapılacak noktanın X, Y, Z koordinatları ile taşınacak parçanın birleşim noktasının X, Y, Z koordinatları bilinmelidir. Sap2000 programının sağ alt köşesinde farenin koordinatları gözükmemektedir. Bu şekilde koordinatlar öğrenilebilir. Taşıma işlemi başlatıldığında çıkan pencerede ilk önce model üzerindeki birleşim noktasının koordinatı yazılır eksi (-) işareti konularak taşınacak parçanın birleşim noktasının koordinatı yazılır ve *OK* seçeneği seçilerek istenilen koordinatlara taşıma işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 3.13 Kabukların *EXTRUDE* edilerek katı nesneye çevrilmesi

Bu şekilde zor parçalar modelden uzakta modellenerek gerekli yerlere taşınabilir. Model üzerinde yapılabilecek modellemeler ise üzerinde yapılır. Kubbeler "*Üst Menü > Edit > Add to Model From Template*" seçeneği ile Sap2000'nin kendi hazır kubbe şablonu ile çizilebilir. Yarım kubbe yapmak için tam kubbe, modelden uzakta bir yere şablon ile çizilir ve yarısı silinir. Gerekli yere taşınarak birleşim noktaları birleştirilir. Birleşmeyen noktalar "*Üst Menü > Draw > Set Reshape Element Mode*" seçeneği ile tek tek noktalar taşınarak birleştirilebilir. Modellemede takip edilecek yok Şekil 3.14'te verilen akış diyagramında özetlenmiştir. Bu algoritma ile Süleymaniye Camii'nin 3 boyutlu modeli tam ölçekli olarak Şekil 3.15'de görüldüğü gibi oluşturulmuştur.

3.5 Modellemede Kolaylık Sağlayacak Öneriler

Modelleme sırasında “Üst Menü > View > Set 2D View” seçeneği çok kullanışlıdır. Modelin istenilen kesitlerine bakabilmeyi ve 2D olarak modellemeyi sağlar.

Modelleme yaparken modelin her bir parçasına bir sektör oluşturulması ileriki aşamalarda kolaylık sağlayacaktır. Bunun için “Üst Menü > Define > Section Properties > Area Section/Solid Properties” seçeneği ile sektörler oluşturulabilir. Seçilen nesnelere “Üst Menü > Assing > Area > Sections” veya “Üst Menü > Assing > Solid > Properties” seçenekleri ile sektörler atanılabilir. “Üst Menü > Select > Select > Properties > Area Sections/Solid Properties” seçeneği ile istenilen sektörün tamamı kolaylıkla seçilebilir. Aynı şekilde seçili nesnelere “Üst Menü > Select > deselect > Properties > Area Sections/Solid Properties” seçeneği ile istenilen nesnelere seçimden çıkartılabilir.

“Üst Menü > View > Show Selection Only (Kısa yol: Ctrl+Shift+J)” seçeneği ile sadece seçilen yerler görünür hale getirilebilir. Bu hem yavaş bilgisayarlarda rahatlama sağlar hem de modelleme sırasında görülmesi zor yerlerin daha rahat görünebilmesi ve modellenmesini sağlar. “Üst Menü > View > Invert View Selection” görünür nesnelere görünmez, görünmez haldeki nesnelere ise görünür hale getirir. “Üst Menü > View > Show All” seçeneği ile her şey yeniden görünür hale getirilebilir.

Sürekli kullanılan kesit görüntüleri için “Üst Menü > Define > Coordinate Systems/Grids (Alternatif yol: Sağ Tık > Edit Grid Data)” seçilerek açılan pencereden global koordinat sistemi seçilip *Modify/Show System* seçeneği seçilir. İstenilen koordinatlar açılan penceredeki tablolara girilir. Örneğin 10 metre yüksekliğindeki yatay kesit önemli bir kesit ise Z Grid Data tablosuna 10 değeri girilmelidir. Programın üst kısmında bulunan kısa yol butonlardan XY şeklinde olan simgeye tıkladığı takdirde XY kesiti ekrana gelir. Bu simgenin hemen sağ tarafında yukarı ve aşağı ok şeklinde olan simgeler vardır. Bunlar tıklanarak Z Grid Data kısmında yazan Z değerlerindeki XY kesitleri yani yatay kesitler ekrana gelirler. Bu şekilde kolaylıkla global koordinat sisteminde değeri girilmiş kesitler arasında geçiş yapılabilir.

“Üst Menü > Draw > Snap to > ...” seçeneği ile modelin çizimleri yapılırken modelin önemli noktalarına tutunma özelliği açılıp kapatılabilir. Bu özellik sayesinde modelleme sırasında uç noktalar, orta noktalar, kesişme noktaları gibi yerlere tutunma sağlanabilir.

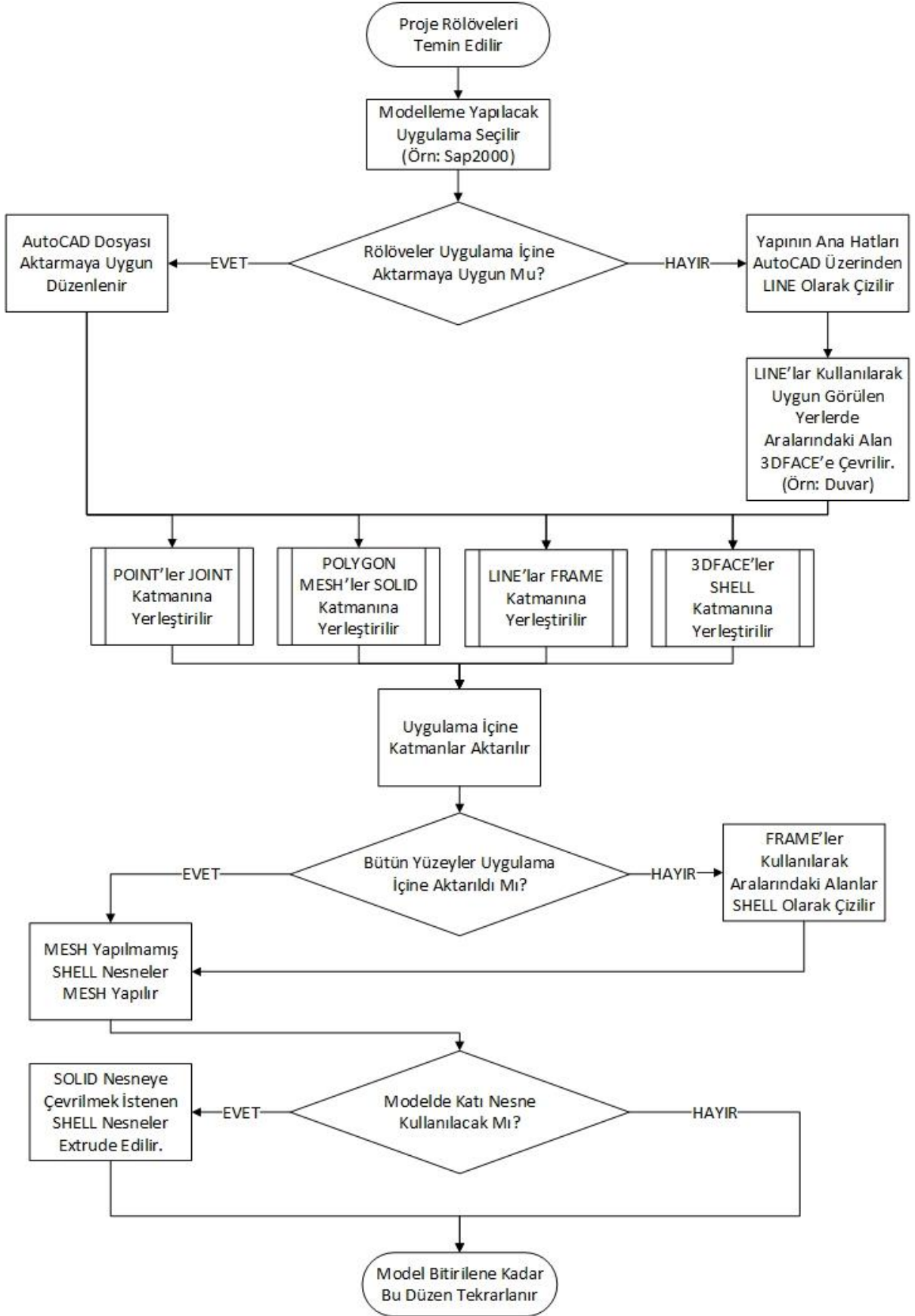
Bu şekilde model parçalarının birbiri ile bağlantısı konusunda daha güvenilir sonuçlar alınabilir.

Modelleme sırasında yardımcı olması amacı ile kullanılan yardımcı çizgiler (yani çubuk nesnelere) vb. nesnelere var ise model bittikten sonra işe yaramaz hale gelirler. “Üst Menü > Select > Select > Properties > Frame Section” seçeneği ile bütün çubuk nesnelere seçilip silinebilirler. Model bitmeden hemen silinmemesi geriye dönük düzeltmelerde işe yarayabilir. Model bittikten sonra bütün gereksiz kabuk nesnelere, yardımcı çizgiler vb. yardımcı nesnelere silinir. Aksi takdirde analiz sonuçlarını direkt olarak etkileyeceklerdir.

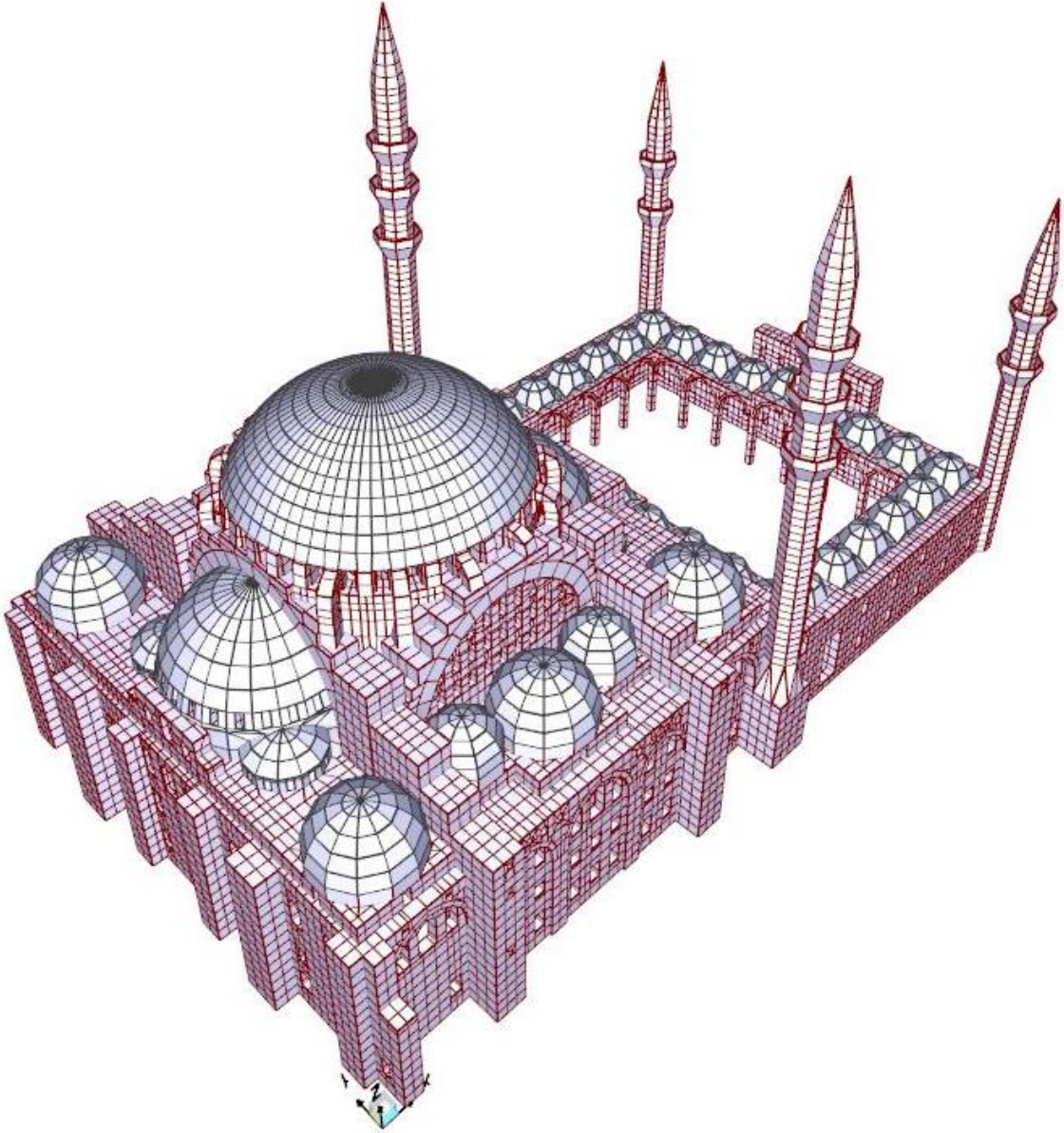
Model bittikten sonra analiz işlemlerine başlandığı zaman “Üst Menü > Analyze > Set Analysis Options > Solver Options” seçeneği ile açılan pencerede ayarları basit bir analiz üzerinde deneyerek hangisinin bilgisayar ve model için en uygun olduğu bulunur ise gerçek model üzerinde yapılacak olan analiz işlemleri daha hızlı yapılabilir.

“Üst Menü > Options > Graphics Mode > DirectX” seçeneği ile bilgisayarın ekran kartı kullanılır. Programdan gözle görülür performans artışı yaşanabilir ama modelleme yaparken bazı küçük zorluklar çıkartabilir.

Bütün kabuk ve katı nesnelere köşe noktaları ile birbirine bağlı olması daha gerçekçi sonuçlar alınmasını sağlar. Modelleme sırasında bazen bu bağlantılar yapılamayabilir. Bu gibi durumlarda “Üst Menü > Assing > Area/Solid > Generate Edge Constraints” seçeneği seçilerek nesnelere birbiri ile birlikte çalışması sağlanabilir. Modal analiz sonucu kütle katılım oranı yüksek olan modlar kontrol edilirse modelden ayrık bir şekilde davranan parçalar tespit edilebilir ve bu özellik sayesinde düzeltilebilirler. Bu özelliğin çok fazla kullanılması modelin frekans değerlerini yükseltebilir. Bu nedenle sadece zorunlu kalınan yerlerde kullanılması tavsiye edilir.



Şekil 3.14 Karmaşık yapıların modellenmesinde takip edilecek yol



Şekil 3.15 Süleymaniye Camii bitirilmiş model

Karmaşık yapıların modellenmesi, zor görünmelerine rağmen yeterli miktarda zaman ve enerji harçayarak yapılması mümkündür. Bu bilgiler ışığında modelleme aşamasında izlenecek yol daha belirgin olacak, daha az hata yapılacak ve modelleme aşaması daha kolay geçecektir. Bu gibi yapılarda hata yapmak daha kolay olduğundan dolayı geri dönüşler veya düzeltmeler daha çok yapılmak zorunda kalınabilir. Bazen de bir hatanın düzeltilmesi çok fazla zaman kaybına neden olabilir. Tüm bu bilgiler daha gerçekçi sonuçların daha kısa zaman içerisinde elde edilmesini mümkün kılmaktadır.

SÜLEYMANİYE CAMİİ'NİN FARKLI KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERE SAHİP DEPREMLERİN ETKİLERİ ALTINDA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

4.1 Yapısal Modelleme ve Analiz

Süleymaniye Camii gibi karmaşık bir yapının modellenmesi son derece zordur. Modelleme bazı kabuller ve idealleştirmeler ile yapılmalıdır. Kabuller, edinilemeyecek veya edinilmesi zor veriler için geçmiş çalışmalar kullanılarak yapılır. İdealleştirme yapmak ise modelleme aşamasında bazı kolaylıklar sağlar.

Hiçbir model yüzde yüz gerçeği yansıtamayacağı için amaç gerçekçiliğe en yakın sonucu elde etmek olmalıdır. Bunun için önce yapının projesini almak ve yapı hakkında bilgi toplamak gerekir. Yeterli veriye sahip olduktan sonra yöntem seçilerek modelleme işlemine başlanır. Bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemi tercih edilmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemi ile modelleme yapılır iken doğru şekilde yapıyı parçalara ayırarak modellemek önem arz eder. Yapının hassas veya geometrik olarak zor olan bölgelerinde yapı daha küçük parçalara ayrılarak modelleme yapılabilir. Modelleme yaparken parçaların bağlantı noktalarının düzgün yapılması önemlidir. Bu sayede yük aktarımları düzgün olur ve analiz sonuçlarında gerçeğe en yakın sonuçlar elde edilir.

Yapısal modelde kullanılan elemanlara ait model tipleri ve malzeme özellikleri Çizelge 4.1 de görüldüğü gibidir. Burada verilen malzeme özellikleri Dabanlı [16] tarafından kullanılan malzeme özellikleri referans alınarak tespit edilmiş daha sonra Selahiye vd. [1] tarafından sunulan deneysel ölçüm sonuçları referans alınarak Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi güncellenmiştir.

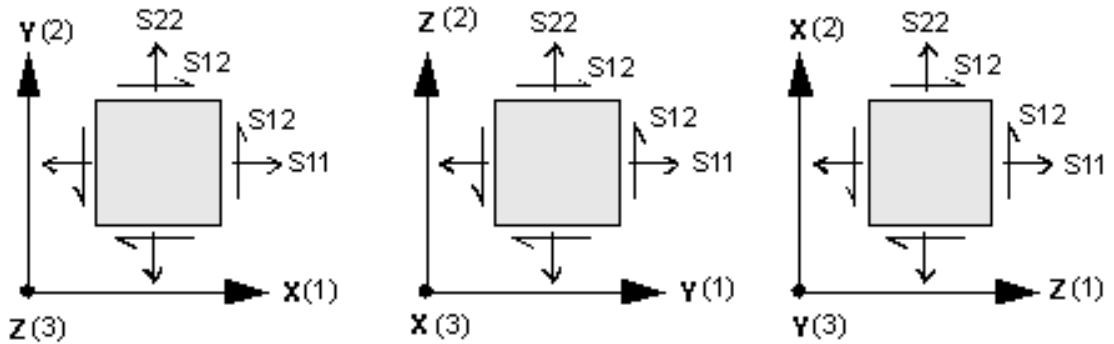
Çizelge 4.1 Modelde kullanılan malzeme parametreleri

Yapı elemanı	Eleman tipi	Model tipi	Elastisite modülü (MPa)	Öz kütle (kg/m ³)	Poisson oranı
Duvarlar	Taş	Katı	9500	2200	0,2
Minareler	Taş	Katı	9500	2200	0,2
Kubbeler	Tuğla	Kabuk	3000	1800	0,18

4.2 Sonlu Elemanlar Modeli

Süleymaniye Camii bilgisayar ortamında Sap2000 uygulaması ile sonlu elemanlar yöntemine uygun olarak modellenmiştir. Modellemenin tamamı Sap2000 uygulaması üzerinde yapılmıştır. Sadece modelleme aşamasında AutoCAD uygulaması üzerinden yardımcı çizgiler içeri aktarılmıştır. Şekil 4.5-4.8’de yapının modellenme aşamaları gösterilmiştir.

Modelde 48152 bağlantı noktası (point), 2658 kabuk (shell) eleman, 23500 katı (solid) eleman mevcuttur. Model X ekseninde 114,08 metre, Y ekseninde 69,13 metre, Z ekseninde 73,25 metrelik alan içerisinde yer almaktadır. Minare tepelerindeki alem kısmı statik açıdan fazla etkili olmayacağından dolayı modelde ihmal edilmiştir.



Şekil 4.1 Global koordinatlar ve gerilmeler [67]

Yapı modelinde kullanılan global koordinatlar ile gerilmelerin pozitif yönleri Şekil 4.1'de görüldüğü gibidir. Katı ve kabuk elemanların işaret uyumları ve yön kabulleri, Sap2000 uygulamasının kabullerine bağlı kalınarak Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Şekil 4.1 ve Şekil 4.4'de görüldüğü gibi yapının sonlu elemanlar modelinde oluşacak çeşitli gerilmeler aşağıda özetlenmiştir.

S11 : (x) yönünde gerilme

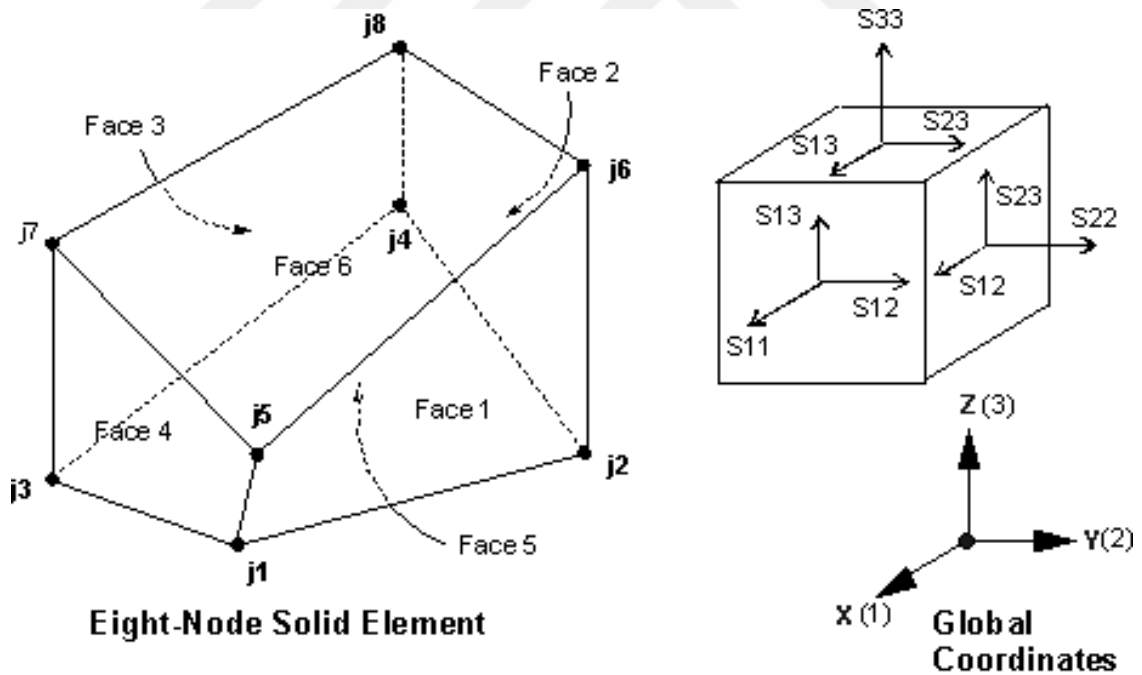
S22 : (y) yönünde gerilme

S33 : (z) yönünde gerilme

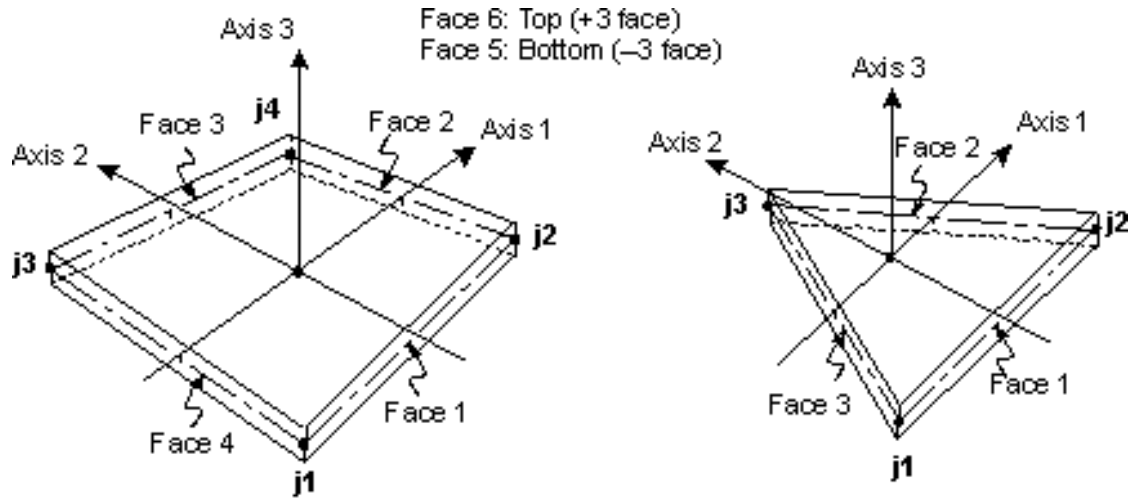
S12 : (x-y) düzleminde kayma gerilmesi

S13 : (x-z) düzleminde kayma gerilmesi

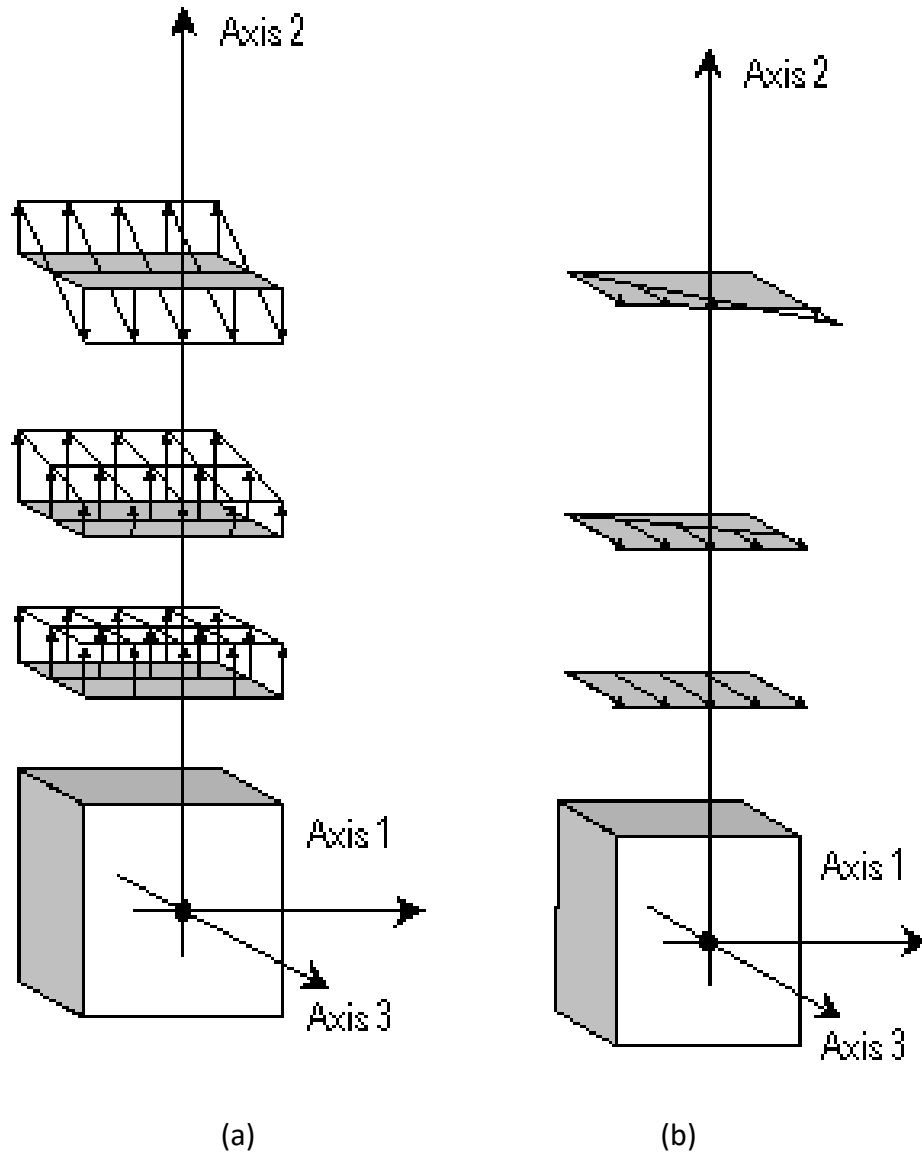
S23 : (y-z) düzleminde kayma gerilmesi



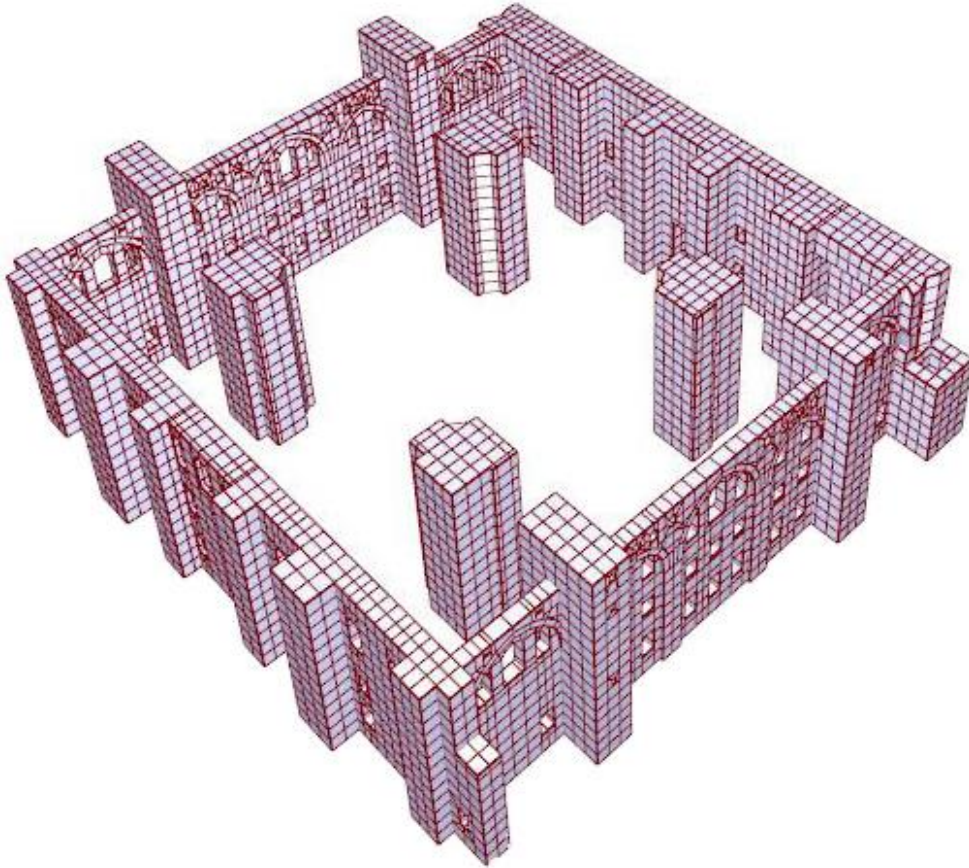
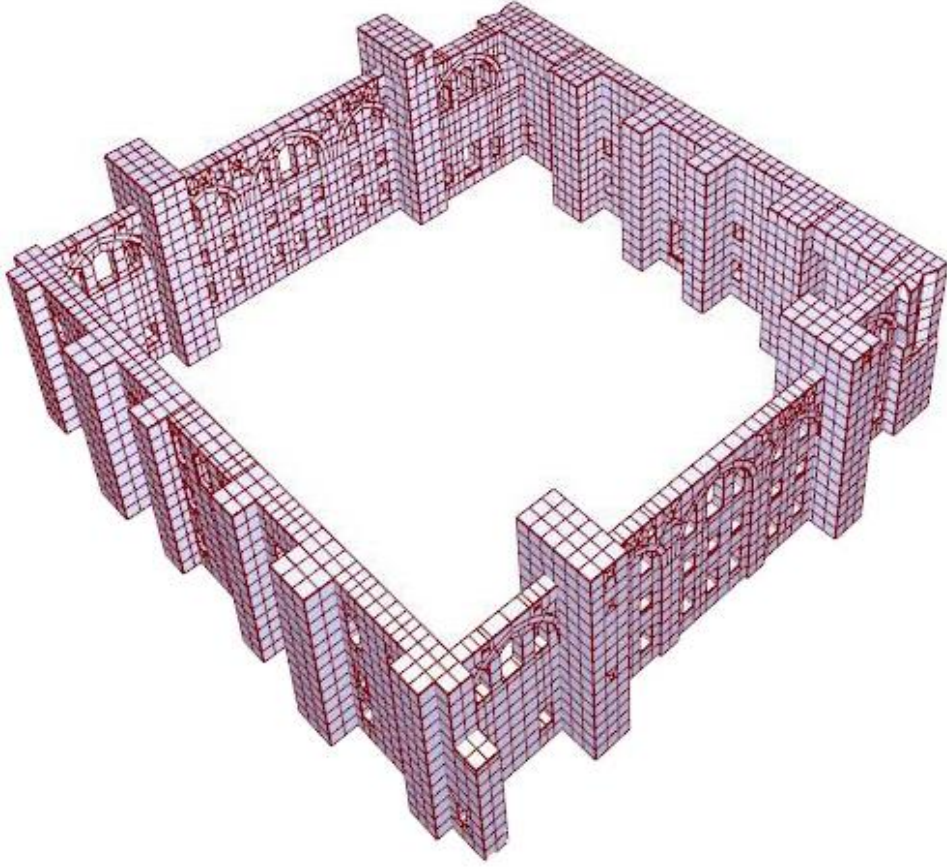
Şekil 4.2 Katı (solid) eleman işaret ve yönleri [67]



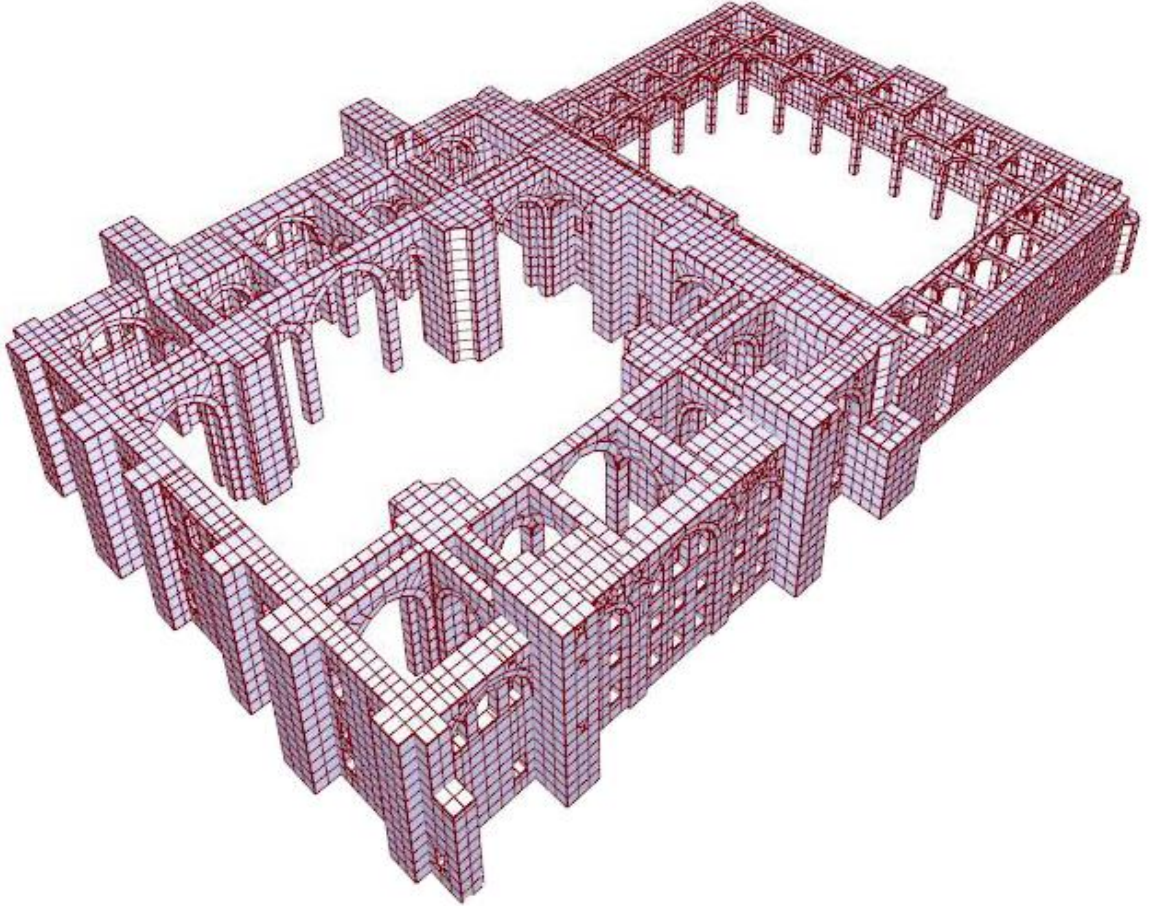
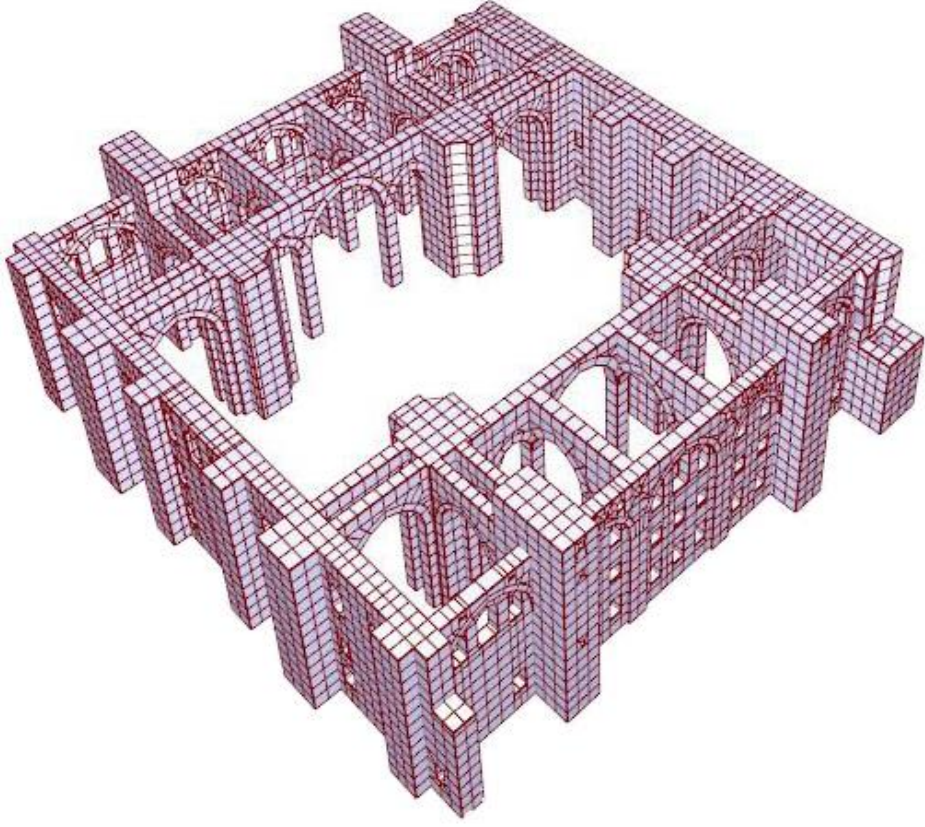
Şekil 4.3 Kabuk (shell) eleman işaret ve yönleri [67]



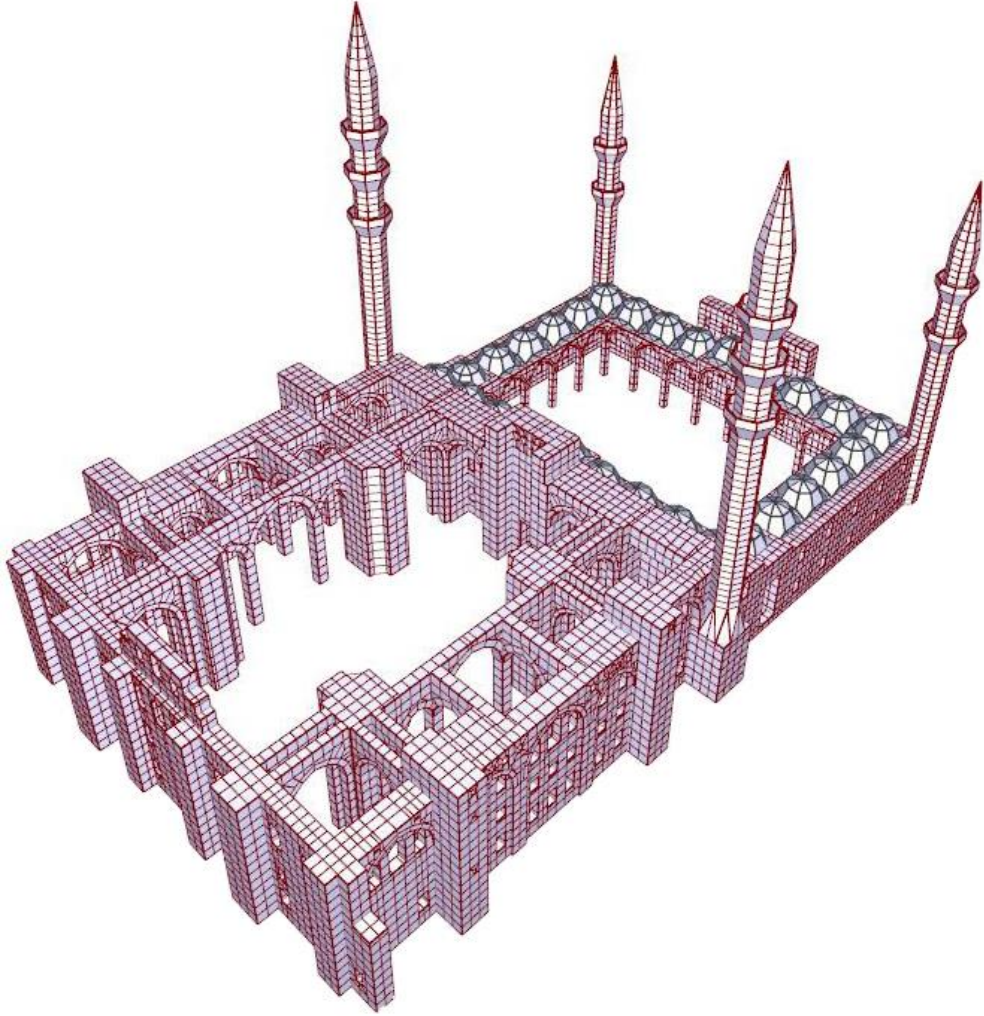
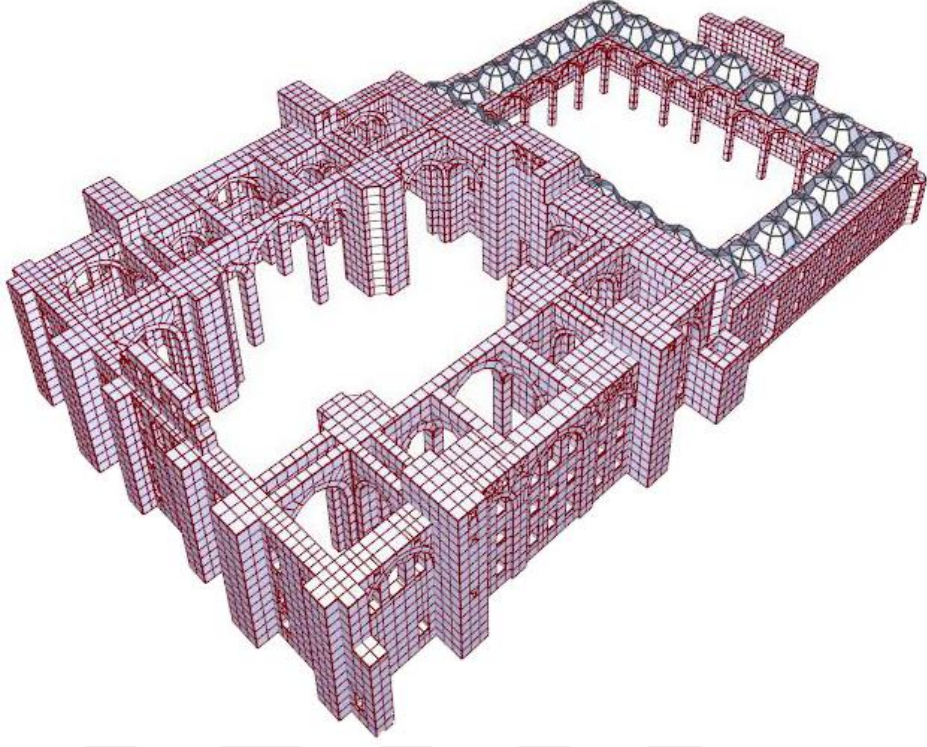
Şekil 4.4 a) S22 düşey gerilmesi b) S23 kayma gerilmesi [67]



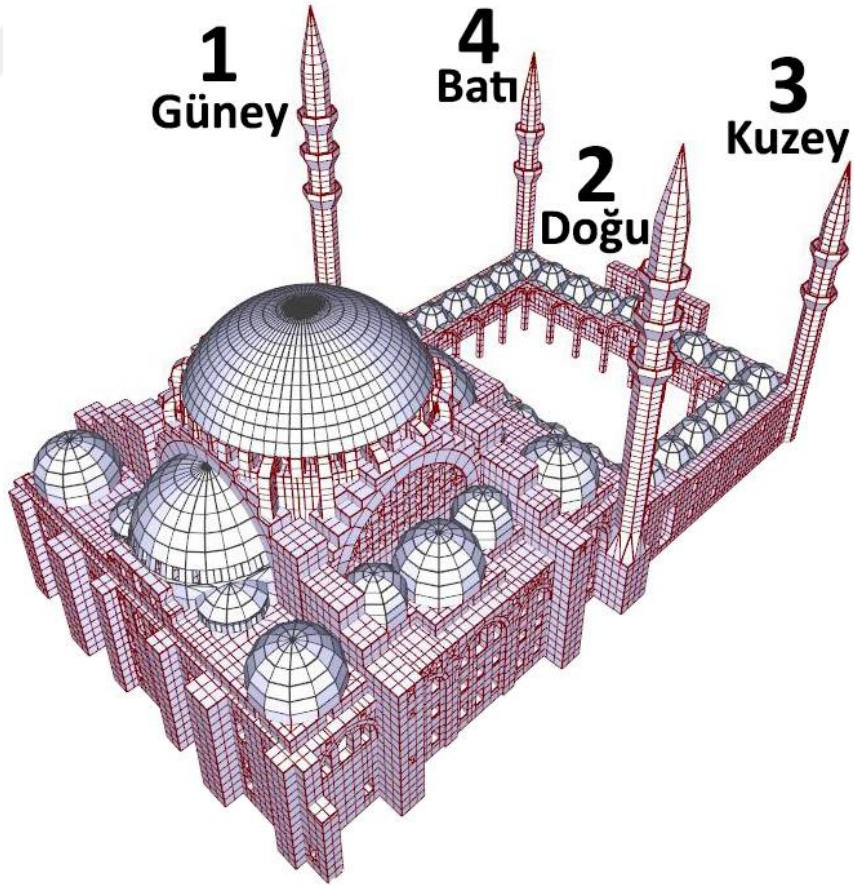
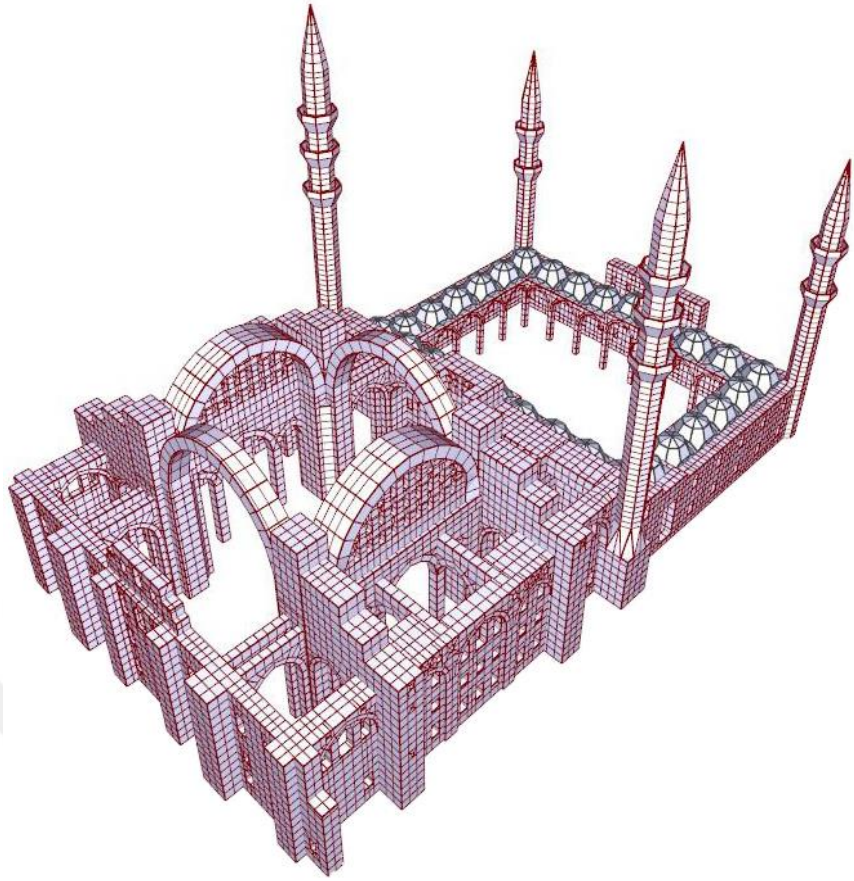
Şekil 4.5 Süleymaniye Camii modelleme aşamaları 1 ve 2



Şekil 4.6 Süleymaniye Camii modelleme aşamaları 3 ve 4



Şekil 4.7 Süleymaniye Camii modelleme aşamaları 5 ve 6



Şekil 4.8 Süleymaniye Camii modelleme aşamaları 7 ve 8

4.3 Dinamik Analiz

Yapının serbest titreşim periyotları, frekansları ve mod şekillerini belirlemek için modal analiz yapılır. Çıkan modlardan eksen yönlerindeki ve Z eksen etrafındaki burulma modunda en fazla kütle katılım oranına sahip olanlar belirlenir. Bu modların frekansı gerçek yapının ölçülen serbest titreşim frekanslarına yakın çıkmış ise oluşturulan model yeteri kadar gerçekçi sonuç veriyor denilebilir.

Çizelge 4.2 Modların kütle katılım oranları

Mod No	UX (%)	UY (%)	UZ (%)	RZ (%)
Mod 14	54,17	0,526	5,2 E-7	0,003
Mod 15	0,749	40,912	1,4 E-4	4,559
Mod 16	0,052	0,154	8,4 E-4	12,09
Mod 66	0,032	0,051	5,026	0,083

Yapının modal analiz sonuçları neticesinde, ilk 100 modda (X) yönünde toplam kütle katılım oranının yapı kütlelerinin %77,12'si ve (Y) yönünde toplam kütle katılım oranının da yapı kütlelerinin %77,16'sı olduğu hesaplanmıştır. (X) yönünde en fazla kütle katılım oranına sahip olan modun %54,17 kütle katılım oranı ile 14. mod olduğu tespit edilmiştir. (Y) yönünde ise en fazla kütle katılım oranına sahip olan modun ise %40,91 kütle katılım oranı ile 15. mod olduğu tespit edilmiştir. Kütle katılım oranı en fazla olan modlar Çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Mod 68'den itibaren toplam kütle katılım oranları çok düşük miktarda artmaya başladığı için çalışmaya 100 mod ile devam edilmiştir.

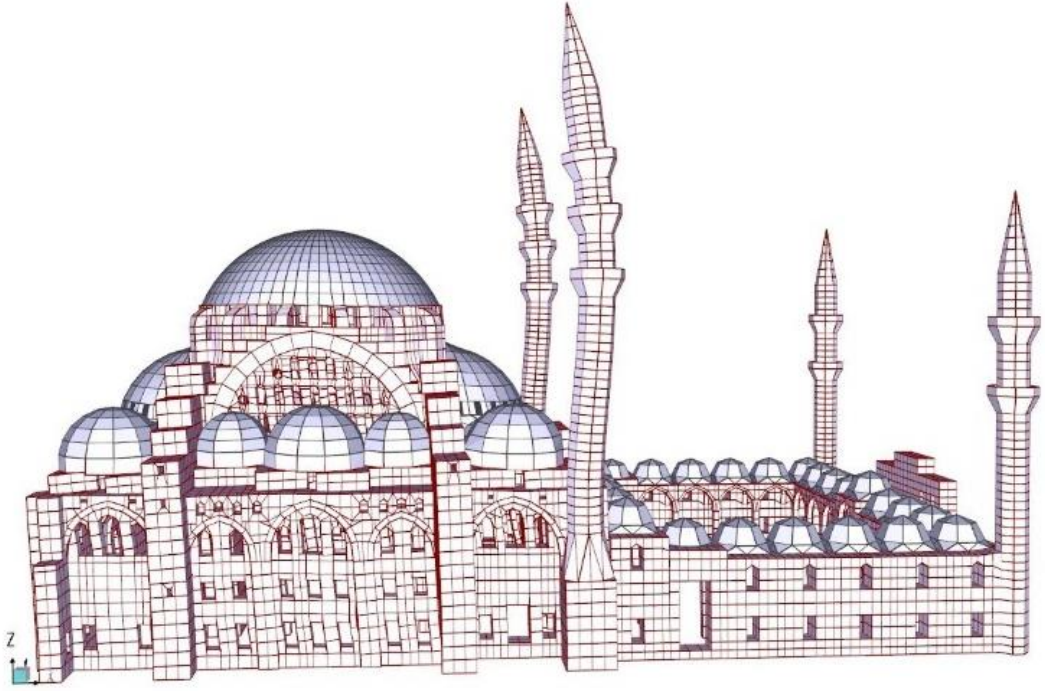
İlk 100 mod için hesaplanan frekanslar ile kütle katılım oranları Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4 gösterilmektedir. Buna göre yapının 1. hakim titreşim modu X yönünde öteleme davranışı göstermektedir (Şekil 4.9). 2. hakim titreşim modu Y yönünde öteleme davranışı göstermektedir (Şekil 4.10). 3. hakim titreşim modu burulma (Şekil 4.11), 4. hakim titreşim modu ise Z yönünde öteleme davranışı göstermektedir (Şekil 4.12).

Çizelge 4.3 Süleymaniye Camii Periyot ve Kütle Katılım Oranları (1-50)

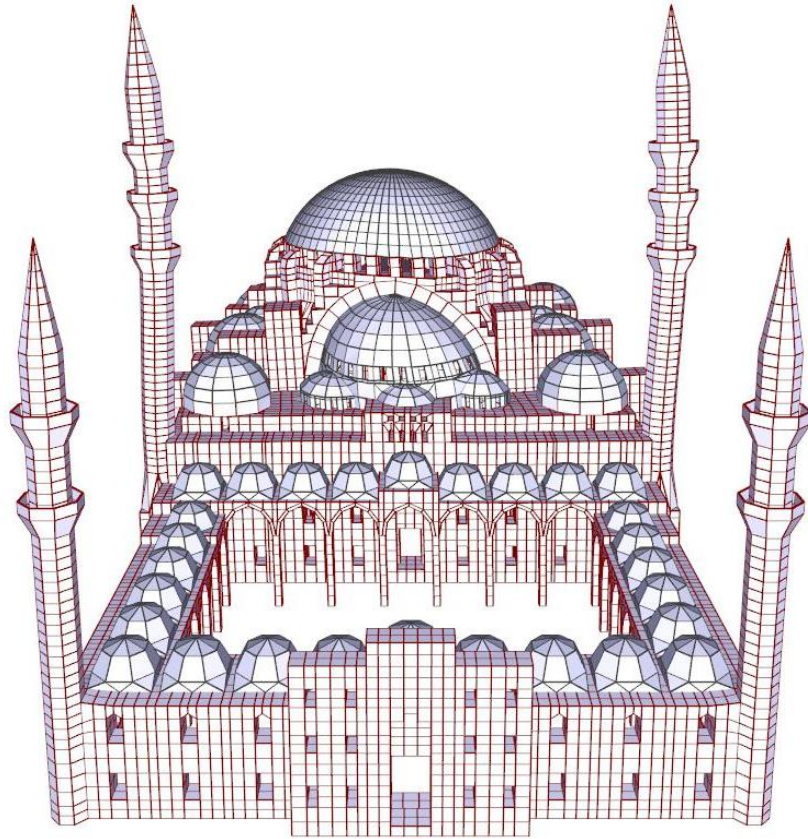
MOD	PERİOD	FREKANS	UX	ΣUX	UY	ΣUY	UZ	ΣUZ	RZ	ΣRZ
1	2,3602	0,4237	0,01082	0,01082	5,8E-06	5,8E-06	3,5E-09	3,5E-09	0,0075	0,0075
2	2,3299	0,4292	0,01008	0,0209	0,00068	0,00069	1,1E-10	3,6E-09	0,00544	0,01294
3	2,2897	0,4367	2,5E-06	0,0209	0,01067	0,01135	2,3E-07	2,3E-07	0,00216	0,0151
4	2,2606	0,4424	0,00067	0,02157	0,00938	0,02074	2,3E-07	4,6E-07	0,004	0,0191
5	1,3983	0,7152	0,00453	0,0261	0,00064	0,02138	6,4E-08	5,3E-07	0,00975	0,02885
6	1,3958	0,7164	0,00497	0,03107	0,00019	0,02156	1,1E-07	6,4E-07	0,00657	0,03542
7	1,3947	0,717	0,00063	0,03171	0,00478	0,02635	3,2E-07	9,6E-07	0,0099	0,04532
8	1,3919	0,7185	0,00021	0,03192	0,00474	0,03108	2,6E-07	1,2E-06	0,01181	0,05713
9	0,4194	2,3844	0,01258	0,0445	6,2E-13	0,03108	4,5E-08	1,3E-06	9,6E-09	0,05713
10	0,3757	2,662	0,01165	0,05615	0,00024	0,03132	2,2E-07	1,5E-06	0,0038	0,06093
11	0,3713	2,6935	0,01207	0,06822	0,00068	0,032	1,4E-07	1,6E-06	0,00449	0,06542
12	0,3651	2,7388	9,7E-05	0,06832	0,00668	0,03868	1,1E-05	1,3E-05	0,00115	0,06657
13	0,3599	2,7785	0,00049	0,06881	0,00507	0,04375	1,4E-05	2,7E-05	0,00118	0,06775
14	0,2971	3,3664	0,5417	0,61051	0,00526	0,04901	5,2E-09	2,7E-05	0,00031	0,06806
15	0,2868	3,4868	0,00749	0,618	0,4091	0,45813	1,4E-06	2,8E-05	0,04559	0,11365
16	0,2354	4,2472	0,00052	0,61852	0,00154	0,45967	8,4E-06	3,7E-05	0,1209	0,23454
17	0,23	4,3477	0,0006	0,61912	0,00088	0,46055	6,7E-06	4,3E-05	0,00034	0,23489
18	0,2299	4,3489	0,00251	0,62163	0,00027	0,46083	3E-05	7,3E-05	0,00015	0,23504
19	0,2294	4,3596	0,00027	0,6219	0,00178	0,46261	2,4E-06	7,5E-05	0,0079	0,24294
20	0,2291	4,3652	0,00051	0,62241	0,00121	0,46381	2,6E-06	7,8E-05	0,00546	0,2484
21	0,2251	4,4416	1,4E-05	0,62242	0,00013	0,46395	0,00031	0,00039	0,00303	0,25143
22	0,2139	4,6742	0,021	0,64342	4E-08	0,46395	2,7E-05	0,00042	1,1E-07	0,25143
23	0,2035	4,9129	0,00018	0,6436	0,00315	0,46709	5,7E-06	0,00042	0,11455	0,36599
24	0,1961	5,0987	6,5E-05	0,64367	2,5E-05	0,46712	1,9E-06	0,00042	0,00233	0,36832
25	0,1949	5,1313	4,4E-05	0,64371	7,1E-05	0,46719	1,3E-06	0,00042	0,00142	0,36974
26	0,1827	5,4731	5,8E-10	0,64371	1,5E-05	0,4672	7,4E-13	0,00042	0,00068	0,37042
27	0,1803	5,5461	0,00568	0,64939	0,00196	0,46916	5E-05	0,00047	0,00207	0,37249
28	0,1722	5,8066	1,6E-05	0,6494	0,04344	0,51261	5,1E-07	0,00048	0,05253	0,42503
29	0,1677	5,9647	0,0005	0,64991	0,00115	0,51376	3,4E-05	0,00051	0,00057	0,42559
30	0,1625	6,1538	0,00501	0,65492	0,01962	0,53339	0,00025	0,00076	0,00342	0,42901
31	0,1608	6,2179	0,00028	0,6552	0,02643	0,55981	3,4E-05	0,0008	0,00246	0,43147
32	0,1571	6,3635	0,05264	0,70784	0,00032	0,56014	0,00013	0,00093	4,8E-06	0,43147
33	0,1528	6,5462	0,00012	0,70795	0,00311	0,56325	6,6E-06	0,00093	0,00585	0,43732
34	0,1524	6,563	0,00225	0,71021	0,03701	0,60025	0,00023	0,00117	0,00777	0,44509
35	0,1435	6,9677	7,7E-06	0,71021	1,8E-05	0,60027	6,1E-05	0,00123	0,0028	0,44789
36	0,1425	7,0192	4,7E-08	0,71021	0,00808	0,60835	7,6E-05	0,00131	0,00308	0,45097
37	0,1417	7,056	0,00011	0,71033	7,1E-05	0,60842	0,00046	0,00177	0,00012	0,45108
38	0,1395	7,1695	1,2E-05	0,71034	0,00037	0,60879	0,0001	0,00187	3,4E-05	0,45112
39	0,1394	7,1712	3,4E-07	0,71034	0,0016	0,61039	0,00057	0,00244	0,00025	0,45137
40	0,1389	7,1983	4E-06	0,71034	0,00023	0,61062	6,9E-05	0,0025	3,3E-05	0,4514
41	0,1364	7,3332	0,00146	0,7118	0,00011	0,61073	8,8E-06	0,00251	0,00033	0,45173
42	0,1333	7,4996	0,00022	0,71202	0,00137	0,6121	0,00596	0,00847	2,8E-05	0,45175
43	0,1309	7,6423	0,00178	0,7138	0,00269	0,61479	0,00463	0,0131	0,00187	0,45363
44	0,1274	7,8468	0,00132	0,71512	0,00349	0,61828	0,00017	0,01327	0,01421	0,46784
45	0,1261	7,9301	0,00083	0,71595	0,00237	0,62065	1,9E-05	0,01329	0,0057	0,47354
46	0,1255	7,9695	1,7E-05	0,71597	0,00056	0,62121	0,00058	0,01387	0,00554	0,47908
47	0,1248	8,0119	0,00075	0,71672	0,00411	0,62532	0,00012	0,014	0,01267	0,49174
48	0,1237	8,083	4,6E-05	0,71676	0,00635	0,63166	0,00013	0,01413	0,00121	0,49295
49	0,1231	8,1264	0,00028	0,71705	0,00032	0,63198	0,00017	0,0143	0,00028	0,49322
50	0,1221	8,1917	2,4E-05	0,71707	0,0004	0,63239	0,00028	0,01458	0,00034	0,49356

Çizelge 4.4 Süleymaniye Camii Periyot ve Kütle Katılım Oranları (51-100)

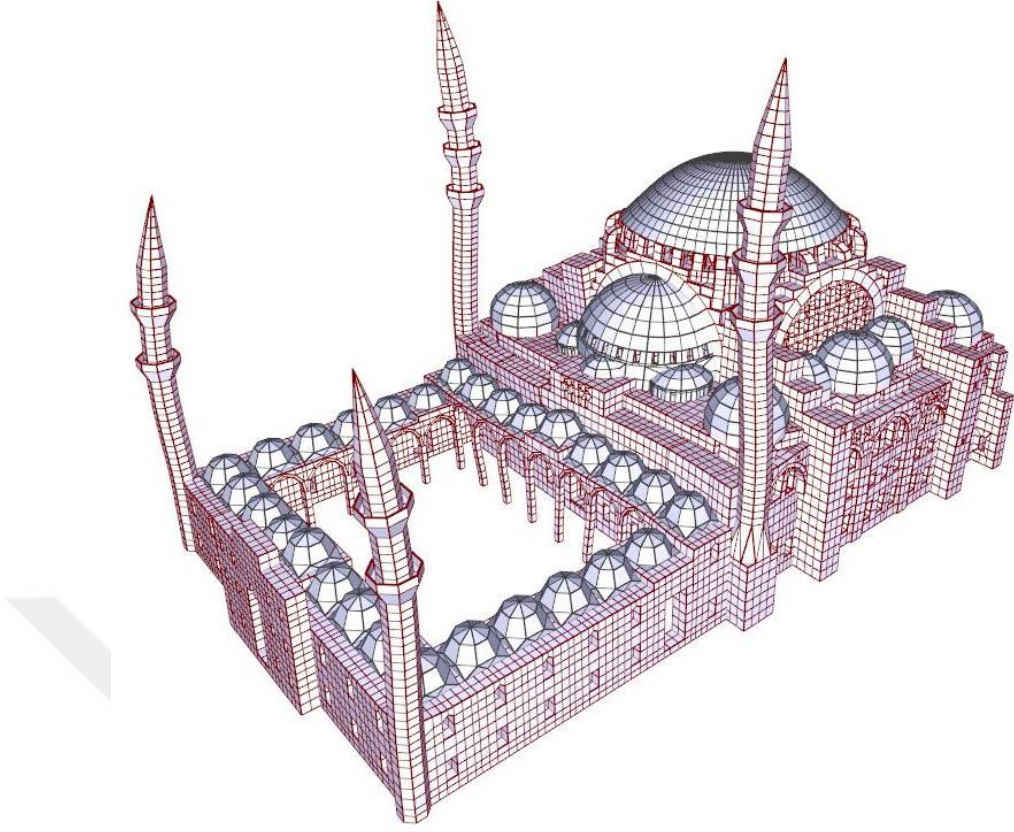
MOD	PERİOD	FREKANS	UX	ΣUX	UY	ΣUY	UZ	ΣUZ	RZ	ΣRZ
51	0,1217	8,2146	0,01348	0,73056	0,0001	0,63249	2,3E-05	0,01461	6,9E-05	0,49363
52	0,1188	8,4198	8,8E-05	0,73064	0,00242	0,63491	0,01711	0,03171	0,00166	0,49529
53	0,1179	8,4802	7,2E-05	0,73072	0,01301	0,64792	0,00011	0,03183	0,01592	0,51121
54	0,1175	8,509	2,2E-06	0,73072	0,00058	0,6485	0,0002	0,03202	0,00099	0,51221
55	0,1168	8,5648	6,3E-05	0,73078	0,00035	0,64885	0,00624	0,03826	0,00122	0,51342
56	0,1162	8,6069	1,5E-06	0,73078	0,00014	0,649	0,00073	0,03899	0,00013	0,51356
57	0,1154	8,6658	0,00034	0,73112	0,00213	0,65113	0,01832	0,05731	0,00151	0,51507
58	0,1136	8,8066	0,00431	0,73543	0,00304	0,65418	0,01132	0,06863	0,00015	0,51522
59	0,1134	8,8215	0,00205	0,73748	0,00015	0,65433	0,00862	0,07725	0,0099	0,52512
60	0,1133	8,8261	0,00731	0,74479	0,00108	0,6554	0,00361	0,08086	0,00049	0,5256
61	0,1126	8,8783	1,7E-05	0,74481	0,003	0,6584	0,00927	0,09013	0,00068	0,52628
62	0,1123	8,9085	0,00025	0,74506	0,00721	0,66561	0,00251	0,09264	0,00034	0,52662
63	0,1117	8,9555	0,00014	0,7452	1,7E-06	0,66561	0,02725	0,1199	0,00113	0,52774
64	0,1116	8,9644	0,00331	0,74851	0,00368	0,66929	0,00904	0,12894	4,9E-05	0,52779
65	0,1113	8,9868	0,00207	0,75058	1,8E-05	0,66931	0,0076	0,13654	8,6E-05	0,52788
66	0,111	9,0126	0,00032	0,7509	0,00051	0,66982	0,0503	0,1868	0,00083	0,52871
67	0,1102	9,0731	0,00074	0,75165	0,02147	0,69129	0,02467	0,21147	0,00022	0,52893
68	0,1054	9,4878	2,3E-05	0,75167	0,02476	0,71606	0,00022	0,21168	0,00712	0,53605
69	0,1037	9,6402	0,00185	0,75352	0,00353	0,71958	0,00925	0,22094	0,0046	0,54065
70	0,1028	9,7301	9,1E-05	0,75361	0,00169	0,72127	0,00238	0,22332	0,00139	0,54204
71	0,1007	9,9337	0,00027	0,75388	0,00269	0,72396	0,0001	0,22342	0,01178	0,55382
72	0,0996	10,041	0,00297	0,75685	0,00899	0,73295	5,2E-05	0,22347	0,0004	0,55421
73	0,0991	10,089	7,9E-05	0,75693	1,6E-05	0,73297	0,00016	0,22363	1,5E-05	0,55423
74	0,0987	10,127	0,00064	0,75757	0,00037	0,73334	1,8E-05	0,22365	4,5E-05	0,55427
75	0,0986	10,146	2,1E-05	0,75759	0,00056	0,7339	0,00016	0,22381	1,9E-05	0,55429
76	0,0979	10,215	0,00042	0,75801	0,00195	0,73585	0,00053	0,22434	0,00248	0,55678
77	0,0974	10,264	6,5E-05	0,75808	0,00015	0,736	0,00025	0,22459	0,0009	0,55768
78	0,0974	10,27	8,3E-05	0,75816	0,00048	0,73649	3,3E-09	0,22459	0,00112	0,5588
79	0,0967	10,343	0,00034	0,75849	0,00439	0,74087	1,6E-05	0,2246	0,0004	0,55919
80	0,0963	10,38	2,3E-05	0,75852	0,0018	0,74267	1,7E-05	0,22462	0,00744	0,56663
81	0,0956	10,462	0,0006	0,75912	0,00031	0,74298	0,00104	0,22566	0,00187	0,56851
82	0,0955	10,475	0,00075	0,75987	0,00045	0,74343	0,00123	0,22689	1,5E-08	0,56851
83	0,0953	10,495	0,00129	0,76116	0,00016	0,7436	0,00345	0,23034	3,8E-05	0,56854
84	0,0951	10,51	0,00278	0,76394	0,00036	0,74396	4,8E-05	0,23038	0,00051	0,56906
85	0,0946	10,571	0,00084	0,76478	0,00255	0,74651	0,00089	0,23127	0,00091	0,56997
86	0,094	10,634	0,00086	0,76564	0,00168	0,74819	0,00027	0,23154	0,00302	0,57299
87	0,0939	10,651	7,2E-06	0,76564	3,2E-05	0,74822	0,00022	0,23176	0,00028	0,57327
88	0,0936	10,684	6,6E-06	0,76565	0,00014	0,74836	0,00515	0,23691	0,00078	0,57405
89	0,0933	10,714	0,00045	0,7661	7,4E-05	0,74843	0,00413	0,24104	0,00062	0,57467
90	0,0929	10,769	0,00038	0,76648	0,00014	0,74857	0,01016	0,2512	0,00284	0,57751
91	0,0926	10,794	1,3E-05	0,76649	6,9E-06	0,74858	0,00433	0,25554	0,0089	0,58641
92	0,0922	10,841	0,00013	0,76662	0,00032	0,7489	0,00262	0,25816	0,00055	0,58695
93	0,0921	10,856	0,00066	0,76728	2,5E-05	0,74892	1,3E-05	0,25817	0,00021	0,58716
94	0,092	10,873	0,00016	0,76745	0,00077	0,74969	3,9E-06	0,25818	0,00067	0,58783
95	0,0918	10,894	0,00083	0,76828	0,0043	0,75399	0,00043	0,25861	0,00284	0,59067
96	0,0911	10,983	5,2E-06	0,76828	5,8E-05	0,75404	0,00429	0,26289	0,00046	0,59113
97	0,0904	11,063	0,00104	0,76932	0,00109	0,75513	8,5E-05	0,26298	6,7E-05	0,5912
98	0,0901	11,104	0,00035	0,76967	1,4E-05	0,75515	6,1E-06	0,26298	1,4E-05	0,59121
99	0,0897	11,146	0,00155	0,77123	0,00139	0,75654	0,00199	0,26497	0,00048	0,59169
100	0,0895	11,169	6E-10	0,77123	0,01506	0,77159	9,1E-11	0,26497	0,04792	0,63961



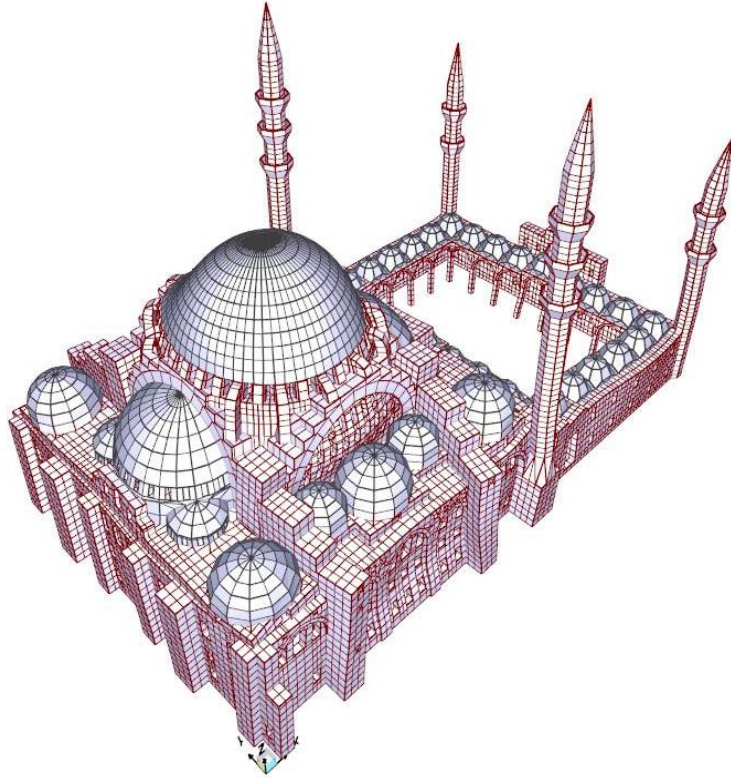
Şekil 4.9 Süleymaniye Camii X ekseninde en fazla kütle katılımına sahip mod şekli



Şekil 4.10 Süleymaniye Camii Y ekseninde en fazla kütle katılımına sahip mod şekli



Şekil 4.11 Süleymaniye Camii Z eksenini etrafındaki burulma hareketinde en fazla kütle katılımına sahip mod şekli



Şekil 4.12 Süleymaniye Camii Z ekseninde en fazla kütle katılımına sahip mod şekli

Malzeme özellikleri güncellendikten sonra yapılan modal analiz neticesinde elde edilen hakim titreşim modlarına karşılık gelen frekansların önceki çalışmalar ile karşılaştırılması Çizelge 4.5’de görüldüğü gibidir. Burada elde edilen analitik frekanslar ile Selahiye vd. [1] tarafından belirlenen deneysel frekanslar, Sato vd. [18] tarafından Kocaeli depremi öncesi ve sonrasında tespit edilen deneysel frekanslar ve Şeker [29] tarafından belirlenen analitik frekanslar bir arada sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde modelin gerçeğe yakın olarak oluşturulduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.5 Modların frekansları ve geçmiş çalışmalar ile karşılaştırılması

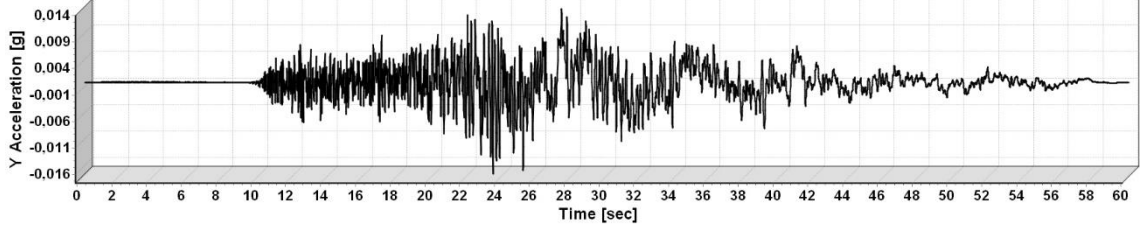
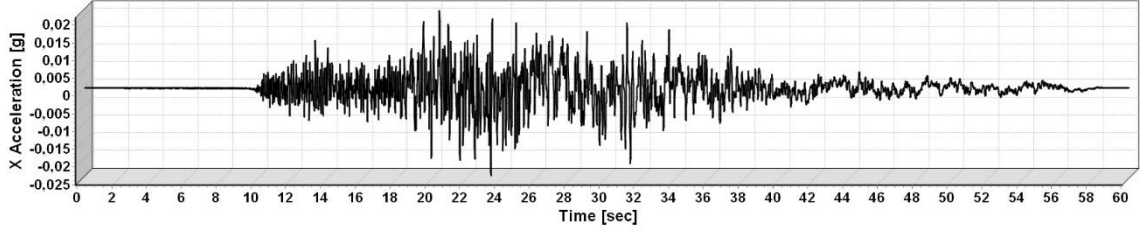
Mod No	Mod Frekansları (Hz)	Deneysel Frekanslar (Hz) [1]	Deneysel Frekanslar (Hz) [18]		Analitik Frekanslar (Hz) [29]
			Kocaeli Depremi Öncesi	Kocaeli Depremi Sonrası	
Mod 14	3,366	3,38	3,43	3,36	4,07
Mod 15	3,486	3,44	3,55	3,46	4,75
Mod 16	4,247	4,26	-	-	-
Mod 66	9,013	9,60	-	-	-

4.4 Deprem Etkisi Altında Yapının Davranışı

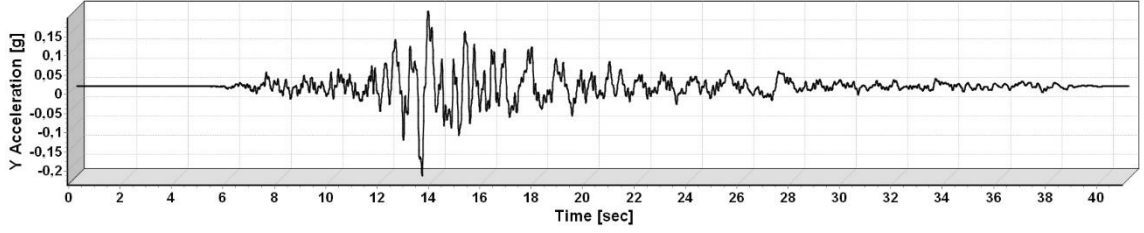
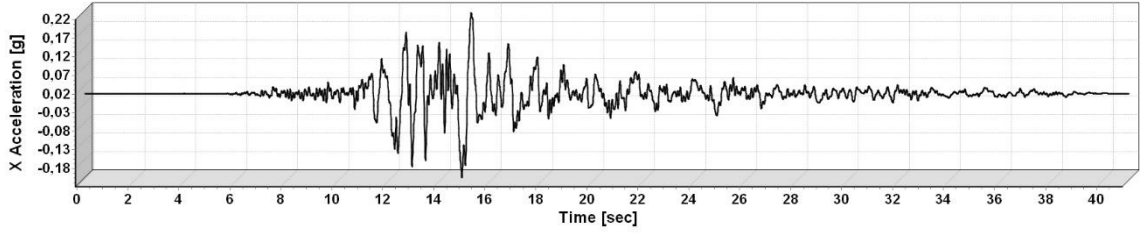
4.4.1 Üç Farklı Tarihi Büyük Depremin Yapıya Etkisi

Bu başlık altında incelenen deprem kayıtları, farklı karakterdeki deprem kayıtlarının yapı davranışı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacı ile kullanılacaktır. Deprem kayıtları gerçek tarihi depremler olup farklı karakteristik özelliklere sahiptirler. Depremlerin büyüklükleri ve yapıya uzaklıkları Şekil 4.13-18’de verilmiştir.

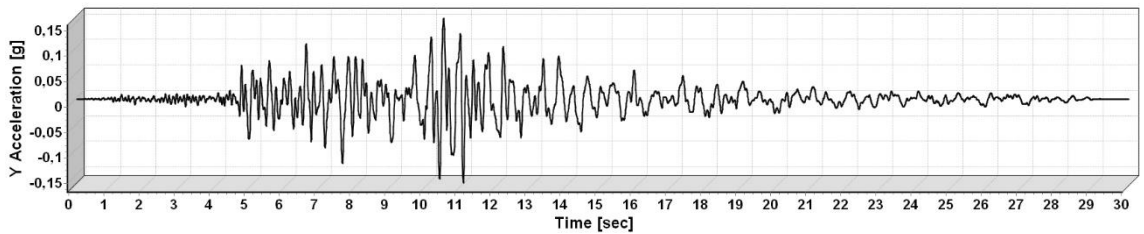
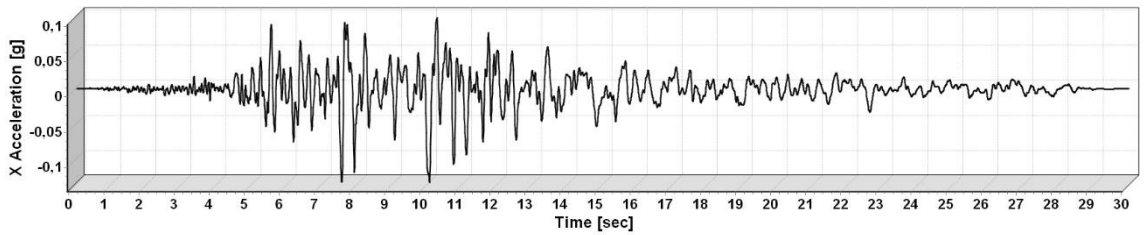
Şekil 4.13, 4.14 ve 4.15’de yapıya etki ettirilen ivmelerin zamana bağlı değişimi, Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18’de ise yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimleri verilmiştir. Şekillerde verilen ivmeler teker teker yapıya etki ettirilmiş ve yapının kendi ağırlığı da dikkate alınarak zaman tanım alanında dinamik analiz yapılmıştır. Yapının kritik bazı noktalarında oluşan yer değiştirmeler Çizelge 4.6’da verilmiştir.



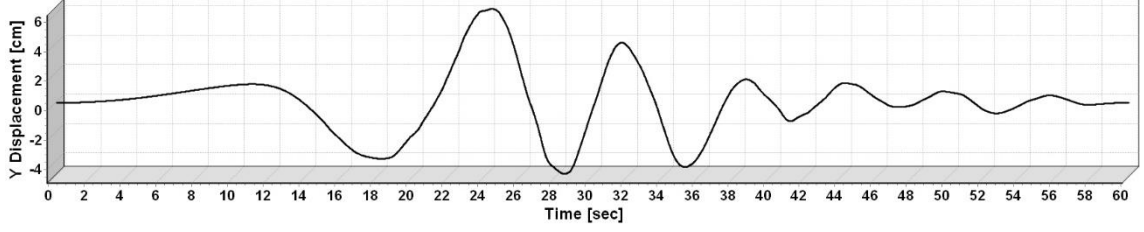
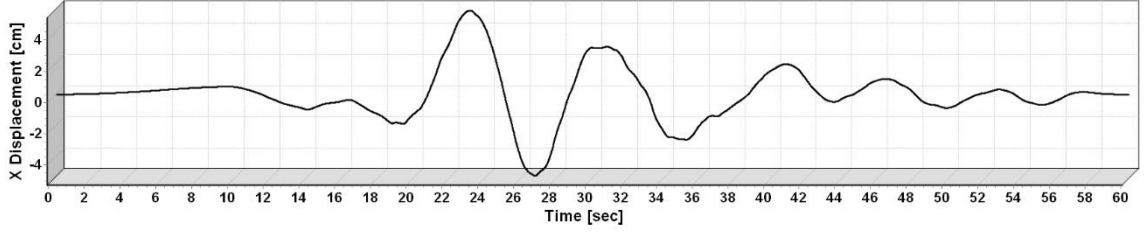
Şekil 4.13 Düzce depremi(1999) ivme-zaman grafiği, (Mag: 7,14 M_w , kırılma bölgesinin 45 km uzağı Sakarya istasyonu kaydı, mekanizma: strike slip) [69], [70]



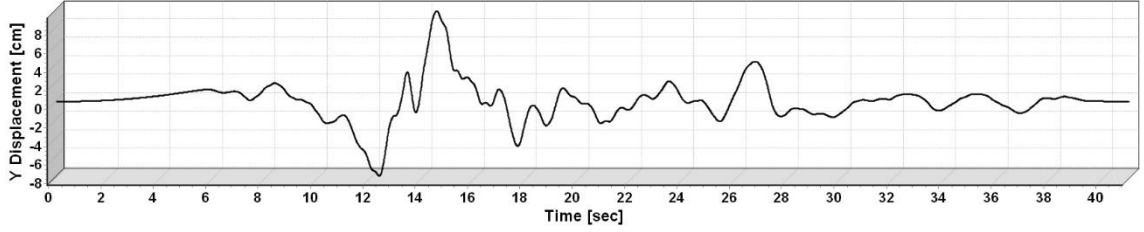
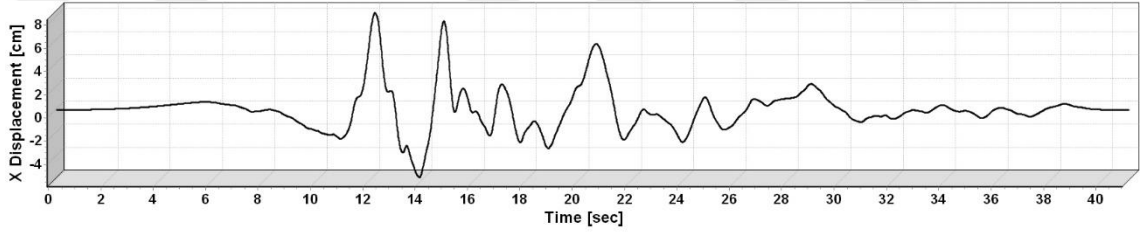
Şekil 4.14 Kobe depremi(1995) ivme-zaman grafiği, (Mag: 6,9 M_w , kırılma bölgesinin 19 km uzağı Shin-Osaka istasyonu kaydı, mekanizma: strike slip) [69], [70]



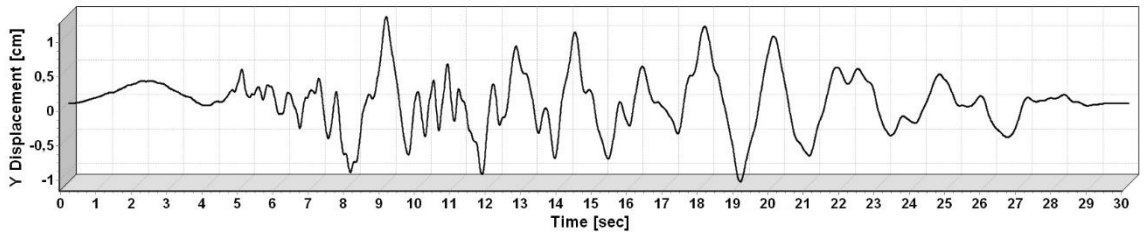
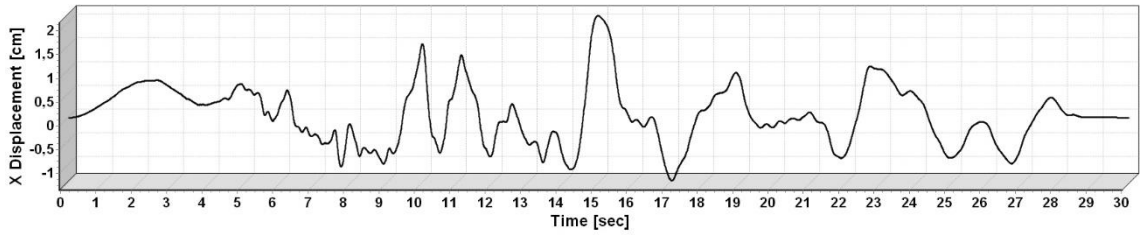
Şekil 4.15 Northridge depremi(1994) ivme-zaman grafiği, (Mag: 6,69 M_w , kırılma bölgesinin 30 km uzağı LA - N Figueroa istasyonu kaydı, mekanizma: reverse) [69], [70]



Şekil 4.16 Düzce depremi(1999) yer değiştirme-zaman grafiği, (Mag: 7,14 M_w , kırılma bölgesinin 45 km uzağı Sakarya istasyonu kaydı, mekanizma: strike slip) [69], [70]



Şekil 4.17 Kobe depremi(1995) yer değiştirme-zaman grafiği, (Mag: 6,9 M_w , kırılma bölgesinin 19 km uzağı Shin-Osaka istasyonu kaydı, mekanizma: strike slip) [69], [70]



Şekil 4.18 Northridge depremi(1994) yer değiştirme-zaman grafiği, (Mag: 6,69 M_w , kırılma bölgesinin 30 km uzağı LA – N Figueroa istasyonu kaydı, mekanizma: reverse) [69], [70]

Çizelge 4.6 Analiz sonucunda yapının tepe noktalarında tespit edilen en büyük yer değiştirme miktarları

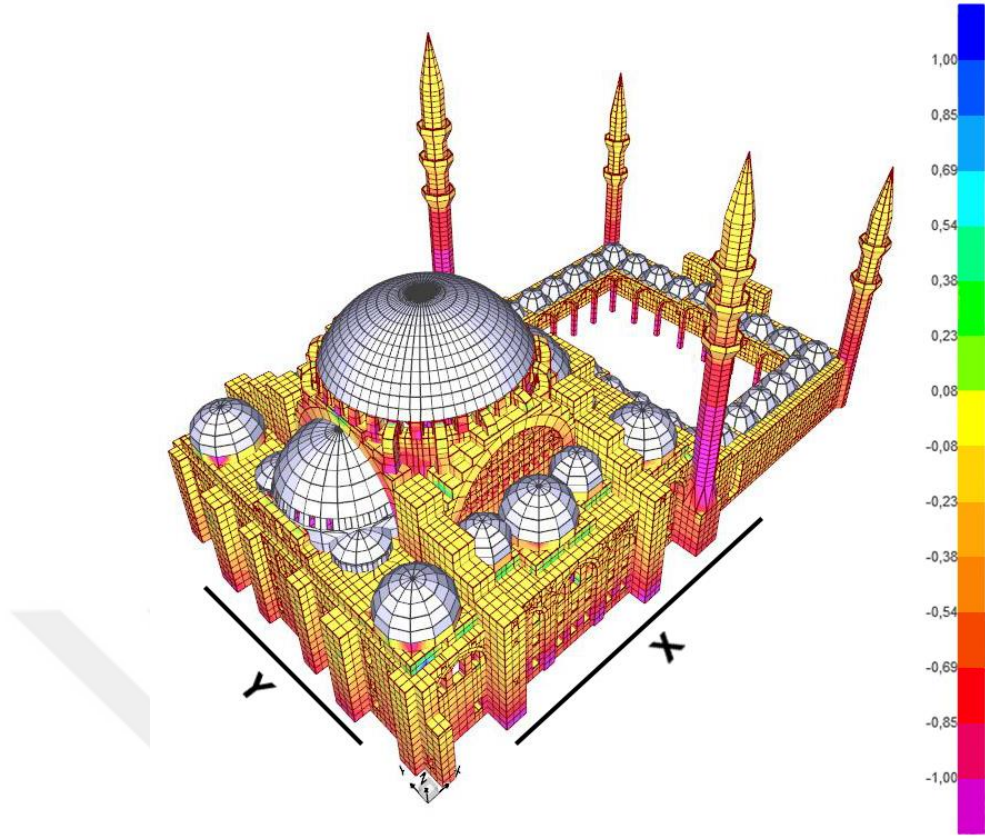
Tepe Noktası		Büyük Kubbe	(1) Güney Minaresi	(2) Doğu Minaresi	(3) Kuzey Minaresi	(4) Batı Minaresi
Düzce Depremi (mm)	Maks (x)	1,87	9,48	9,25	15,79	15,83
	Min (x)	-1,97	-20,1	-19,6	-16,1	-16,2
	Maks (y)	1,03	14,23	14,11	15,34	15,39
	Min (y)	-0,99	-22,9	-23	-19,6	-19,6
Kobe Depremi (mm)	Maks (x)	9,53	251,6	251,2	203,1	202,5
	Min (x)	-13,83	-217,7	-226,5	-188,4	-187,1
	Maks (y)	9,97	146,4	147,7	178,2	178,5
	Min (y)	-9,64	-182,8	-178,9	-189,2	-190,1
Northridge Depremi (mm)	Maks (x)	7,13	46,79	45,33	74,78	74,69
	Min (x)	-9,64	-88,3	-87,8	-81,9	-81,6
	Maks (y)	8,38	46,57	45,61	39,36	39,3
	Min (y)	-9,12	-106,9	-104	-43,84	-43,99

Yapıda hiçbir deprem etkisi altında olmadan yapılan analizler sonucunda meydana gelen çekme ve basınç gerilmeleri Çizelge 4.7’de verilmiştir. Yapının dikey yönde (S33) oluşturduğu maksimum basınç 2,35 MPa’dır (Şekil 4.19). Sonuçlara bakıldığında yapının ağır olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca yapının ölü ağırlığının yapı içinde çekme gerilmeleri oluşturduğu görülmektedir. Y eksenini (S22) doğrultusunda ölü yük nedeni ile oluşan maksimum gerilme 1,31 MPa’dır.

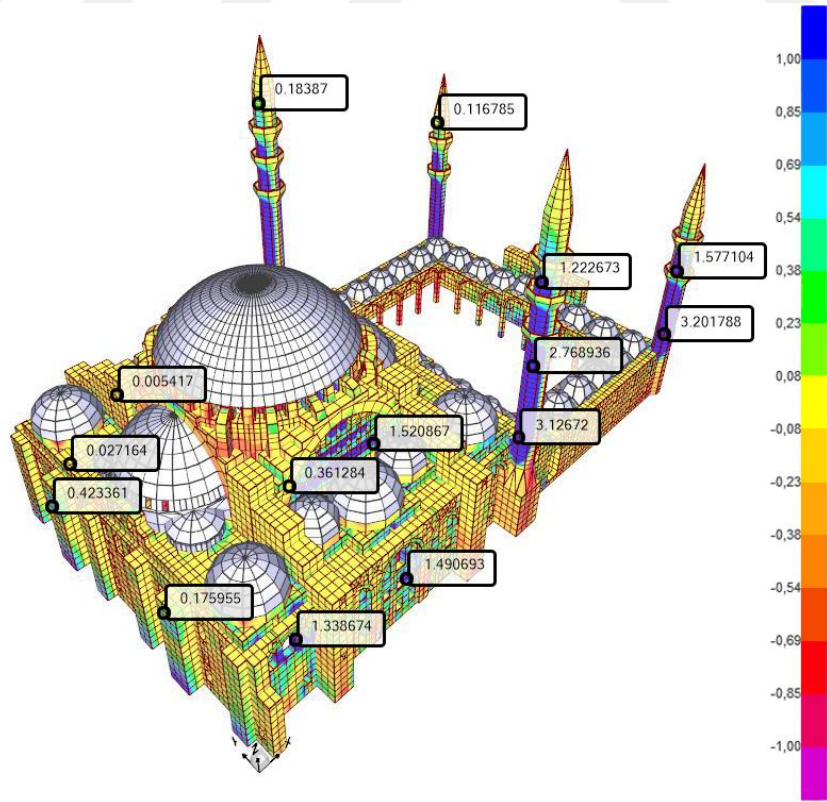
Yapıda deprem analizleri sonucu meydana gelen en büyük çekme ve basınç gerilmeleri Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9’da görüldüğü gibidir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en büyük çekme gerilmelerinin Kobe depreminin X yönünde etki ettirilen bileşeni sonucunda elde edildiği anlaşılmaktadır. Bu deprem sonucu oluşan gerilme dağılımları Şekil 4.20’de gösterilmektedir. Grafik skalası 1 MPa ve -1 MPa arasında ölçeklendirilerek sunulmuştur. Yapının geneli (sarı-mavi arası bölgeler) Şekil 4.20’de görüldüğü gibi 1 MPa altında çekme gerilmesine maruz kalmıştır. Minare duvarlarında 3 MPa civarlarında, pencere boşluklarının yakın olduğu yerlerde ise 1,5 MPa civarı çekme gerilmeleri oluşmuştur. Şekil 4.21’de görüldüğü gibi yapının temel ile birleştiği yerlerin bazı kenar kısımlarında 1 ile 2 MPa arasında gerilmeler oluşmuştur.

Çizelge 4.7 Ölü yükler altında en büyük gerilmeler (MPa)

MAKSİMUM	Shell (Kubbeler)		Solid		
	S11	S22	S11	S22	S33
Çekme Gerilmesi	0,68	0,69	1,06	1,31	1,22
Basınç Gerilmesi	1,22	1,52	1,25	2,03	2,35



Şekil 4.19 Yapının ağırlığının Z ekseninde oluşturduğu basınç gerilmeleri (Çizelge 4.7, S33)



Şekil 4.20 Kobe depremi X bileşeninin yapıda oluşturduğu en büyük çekme gerilmeleri (Çizelge 4.8, S11)

Çizelge 4.8 Deprem etkisi altında yapıda oluşan en büyük çekme gerilmeleri (MPa)

MAKSİMUM ÇEKME	Shell (Kubbeler)		Solid		
	S11	S22	S11	S22	S33
Düzce (X)	0,75	0,89	1,3	1,91	1,37
Düzce (Y)	0,72	0,73	1,24	1,62	1,35
Kobe (X)	1,34	1,85	4,09	3,18	5,76
Kobe (Y)	2,18	2,07	2,56	3,25	5,34
Northridge (X)	1,13	1,53	3,26	2,58	3,87
Northridge (Y)	1,79	1,22	1,96	3,52	3,14

Kobe gibi Northridge ve Düzce depremlerinde de en büyük çekme gerilmeleri X ekseninde etki ettirilen depremlerden dolayı oluşmuştur.

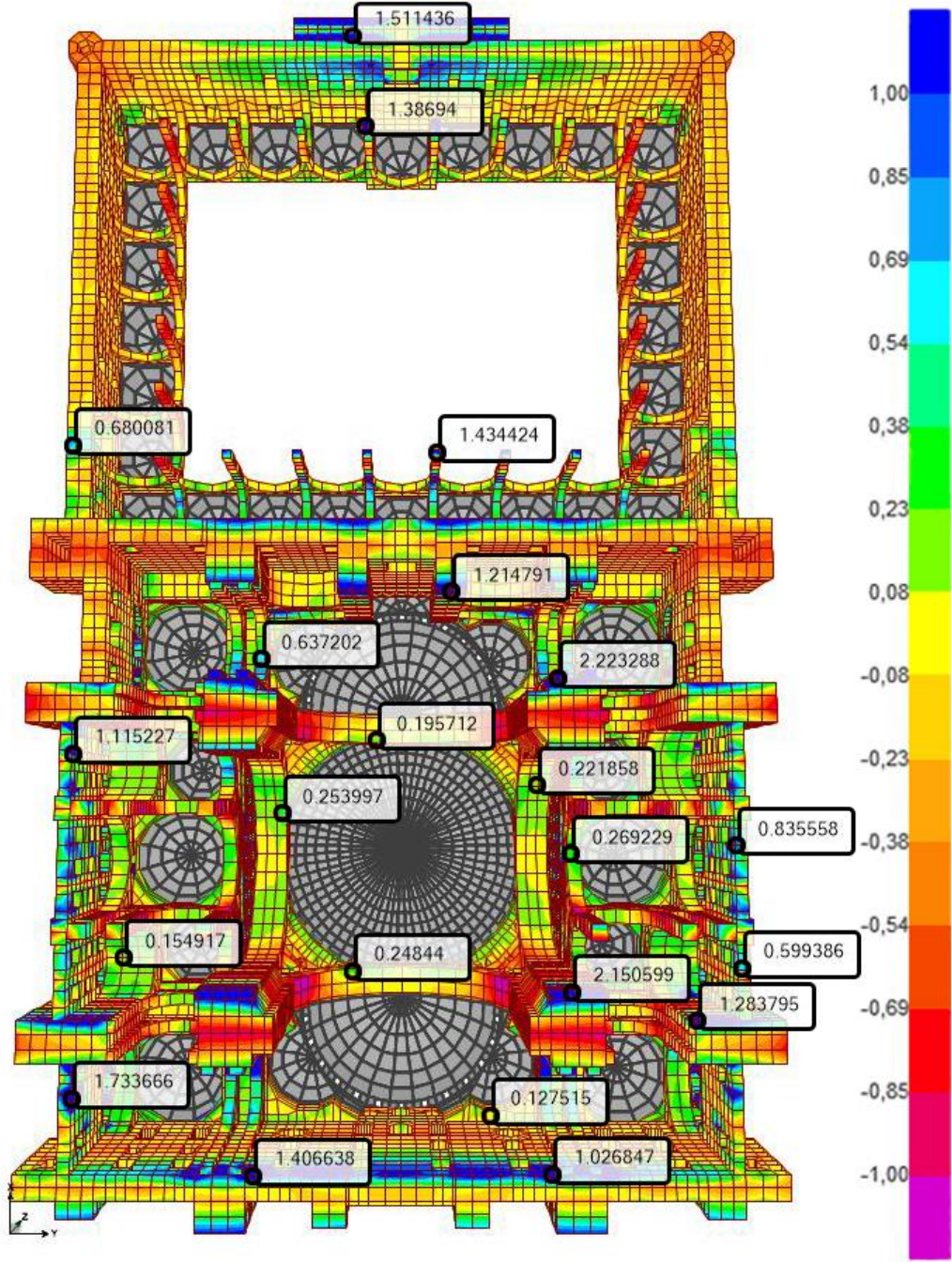
Y Ekseninde ise yine en büyük gerilme Şekil 4.22’de görüldüğü gibi Kobe depreminde oluşmuştur. Bunun nedeni tercih edilen deprem kayıtlarından kırılma noktasına en yakın olanının Kobe depremi kaydının olmasıdır. Bu nedenle Kobe depremi ivme kayıtları Düzce ve Northridge depremi ivmelerine göre daha büyük değerdedirler. Kobe depreminin X bileşeninin güney minaresi yüzeyinde oluşturduğu çekme gerilmeleri detayı Şekil 4.24’te, Y bileşeninin kuzey minaresi yüzeyinde oluşturduğu basınç gerilmeleri detayı ise Şekil 4.25’te gösterilmektedir.

Yapıda oluşan çekme gerilmeleri arttıkça çatlak oluşumu ihtimali artacaktır. Bu nedenle en fazla çatlak oluşumu Kobe depreminde, ardından Northridge depreminde, en son olarak ta Düzce depreminde beklenebilir.

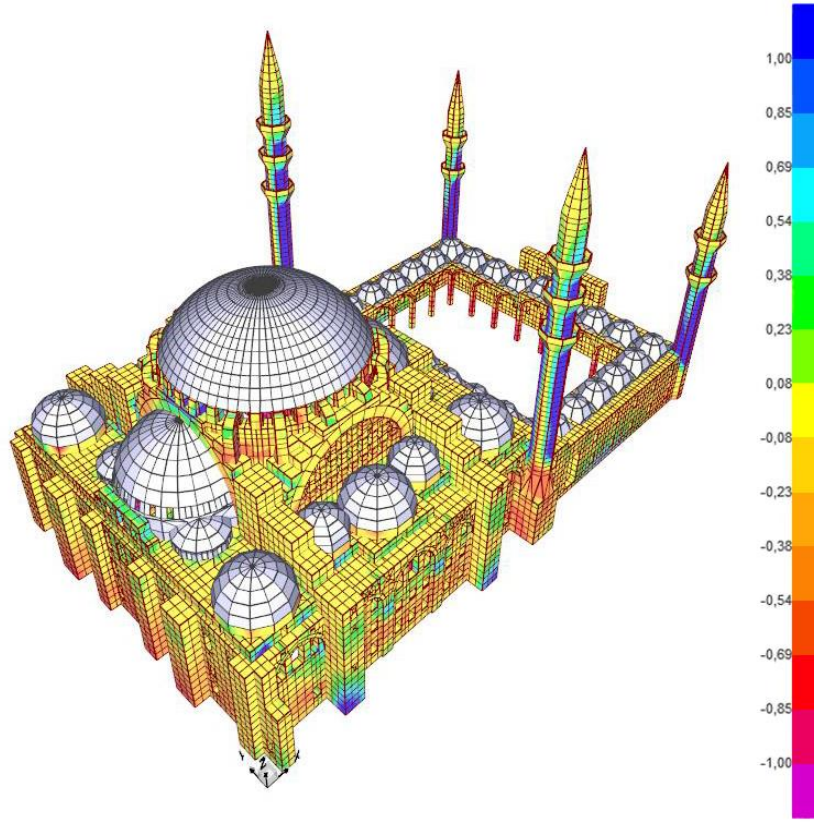
Çizelge 4.9 Deprem etkisi altında yapıda oluşan en büyük basınç gerilmeleri (MPa)

MAKSİMUM BASINÇ	Shell (Kubbeler)		Solid		
	S11	S22	S11	S22	S33
Düzce (X)	1,4	1,65	1,79	2,15	2,94
Düzce (Y)	1,43	1,59	1,37	2,09	2,99
Kobe (X)	2,32	2,44	4,16	3,35	6,97
Kobe (Y)	2,49	2,53	2,29	3,64	6,45
Northridge (X)	2,1	2,13	4,19	2,93	4,84
Northridge (Y)	2,06	2,22	2,17	3,78	4,45

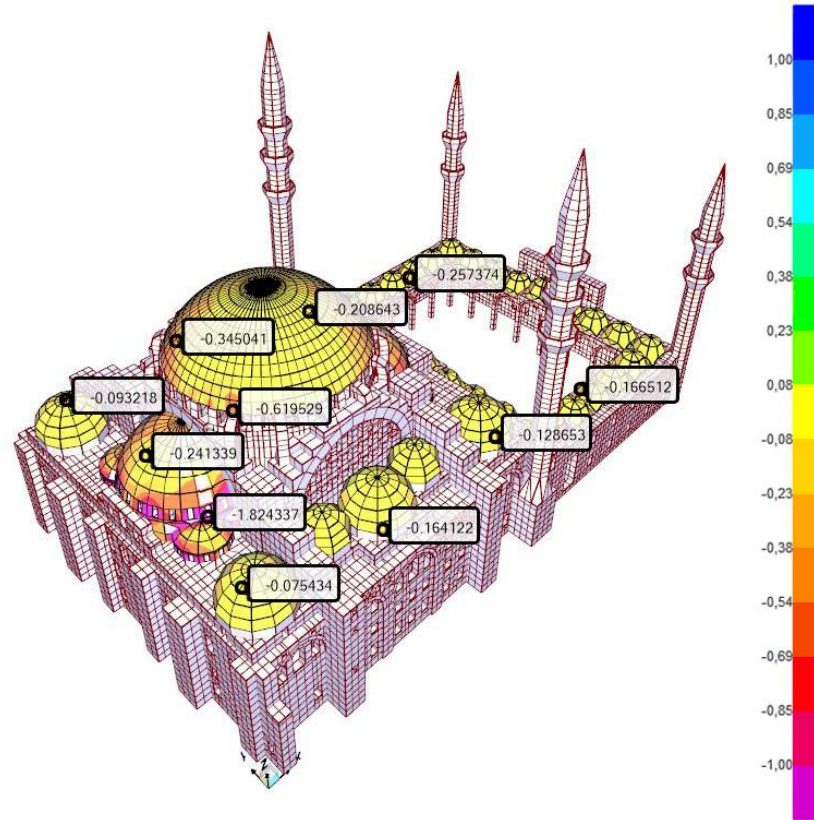
Yapının ağır olması nedeni ile en büyük basınçlar depremlerin hepsinde doğal olarak düşey ekseninde (S33) oluşmuştur. Basınç gerilmelerinin önemli bir kısmı yapının kendi ağırlığı nedeni ile oluşmuştur denilebilir. Kubbelerde (Shell kısmında) basınç gerilmelerin hepsi çekme gerilmelerinden daha fazla olmuştur. Yapının geri kalanında ise sadece Kobe depreminde (Y) S11 çekme değeri basınç değerinden az miktarda fazla çıkmıştır. Kubbelerde en fazla basınç Şekil 4.23’de görüldüğü gibi yapı ile veya başka bir kubbe ile bağlandığı yerlerde oluşmuştur. En fazla çekme gerilmeleri de basıncın büyük olduğu yerler ile aynı yerlerde meydana gelmiştir. Şekil 4.26’da Northridge depreminin (Y) etkisi altındaki kubbelerin çekme gerilmeleri detayı verilmiştir. Yapıya kıyasla kubbelerde oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin çok daha düşük seviyelerde kaldığı söylenebilir.



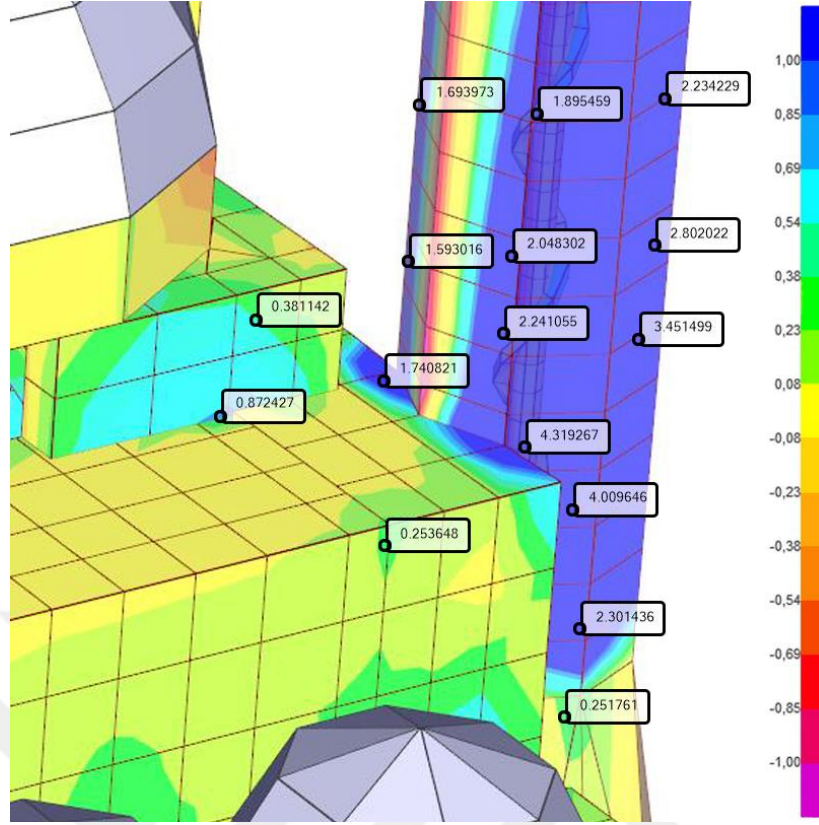
Şekil 4.21 Kobe depremi X bileşeninin etkisi altında oluşan düşey yöndeki çekme gerilmeleri ve bazı noktadaki değerleri (Pozitif değer çekme, negatif basınçtır. Çizelge 4.8, S33)



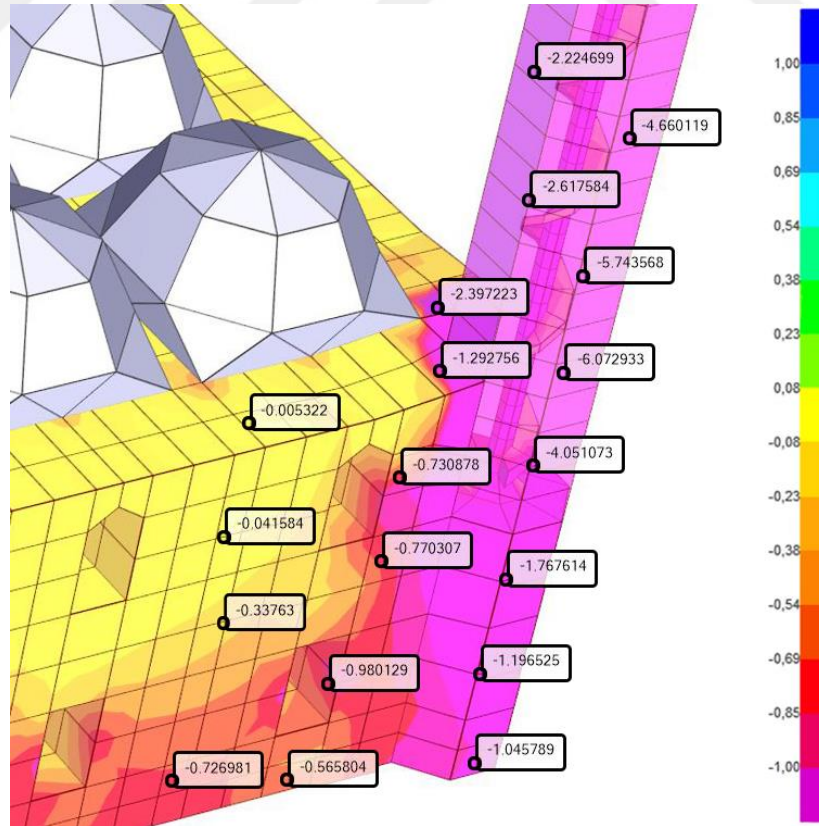
Şekil 4.22 Kobe depremi Y bileşenin yapıda oluşturduğu en büyük çekme gerilmeleri (Çizelge 4.8, S22)



Şekil 4.23 Northridge depremi Y bileşenin kubbelerde (kabuk elemanlarda) oluşturduğu en büyük basınç gerilmeleri (Çizelge 4.9, S11)

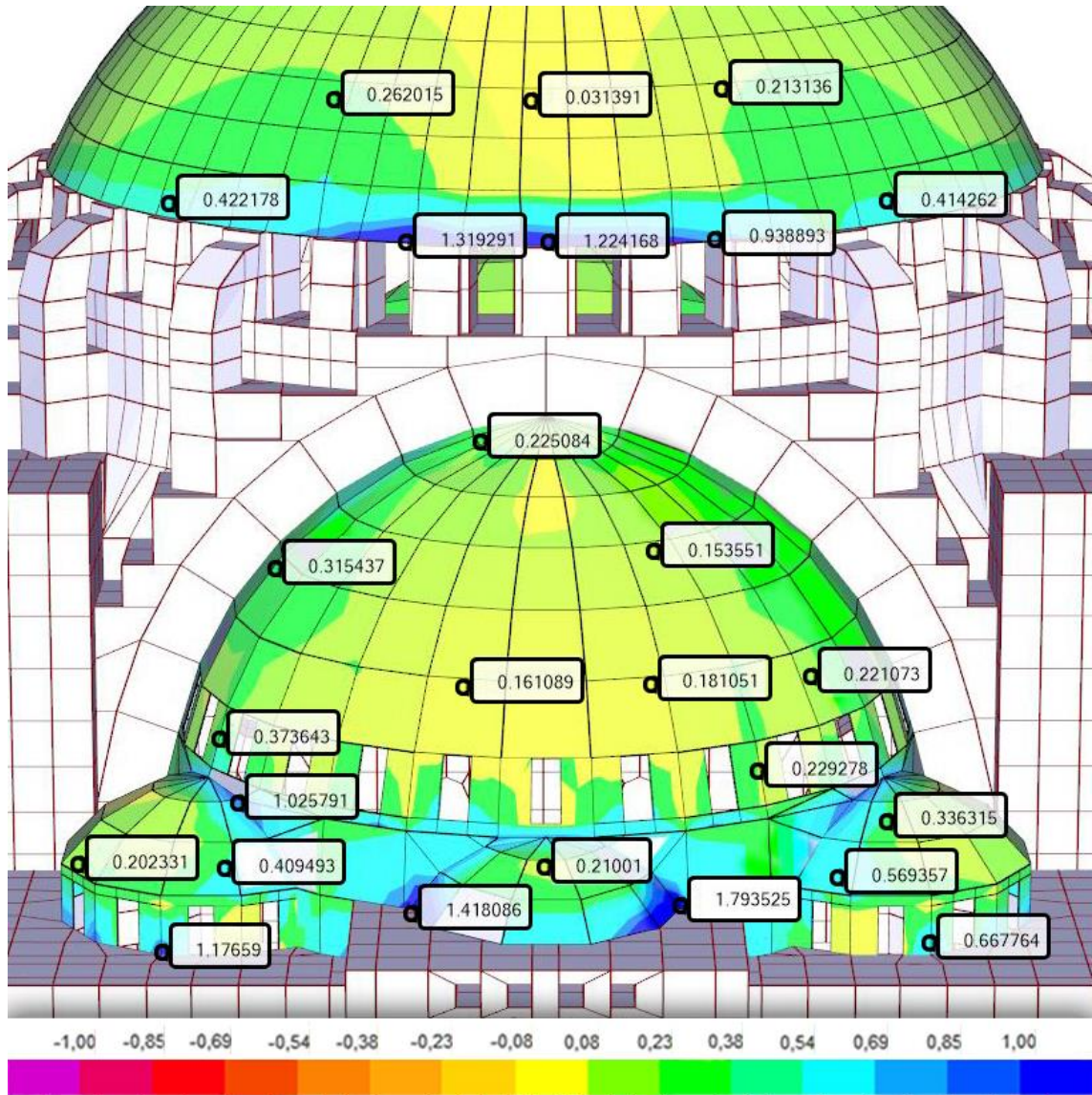


Şekil 4.24 Kobe depremi X bileşeninin güney minaresi yüzeyinde oluşturduğu çekme gerilmeleri detayı (Çizelge 4.8, S33)



Şekil 4.25 Kobe depreminin Y bileşeninin kuzey minaresi yüzeyinde oluşturduğu basınç gerilmeleri detayı (Çizelge 4.9, S33)

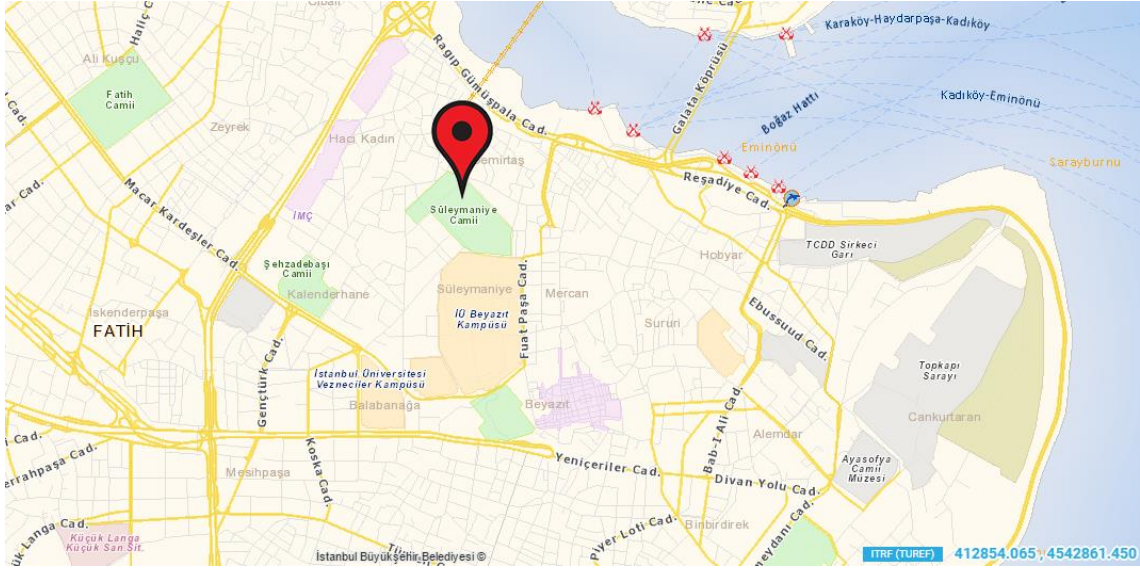
Çizelge 4.6'daki yapının yer değiştirme miktarlarına bakıldığında yapının Düzce depreminden pek fazla etkilenmediği ve yer değiştirme miktarlarının düşük miktarda kaldığı görülmüştür. Düzce deprem kaydının diğerlerine göre kırılma noktasına en uzak mesafede olan istasyon kayıtlarının kullanılmasının da bu sonuç üzerinde etkisi vardır. Ana taşıyıcı sistem bütün depremlerde rijit davranarak düşük miktarda yer değiştirme göstermiştir. Yapının en fazla yer değiştirme gösteren yerleri ise 1 ve 2 nolu güney ve doğu minarelerinin tepe noktaları olmuştur. Minare tepeleri, Kobe depremi (X) etkisi altında 251 mm yer değiştirme yapmıştır.



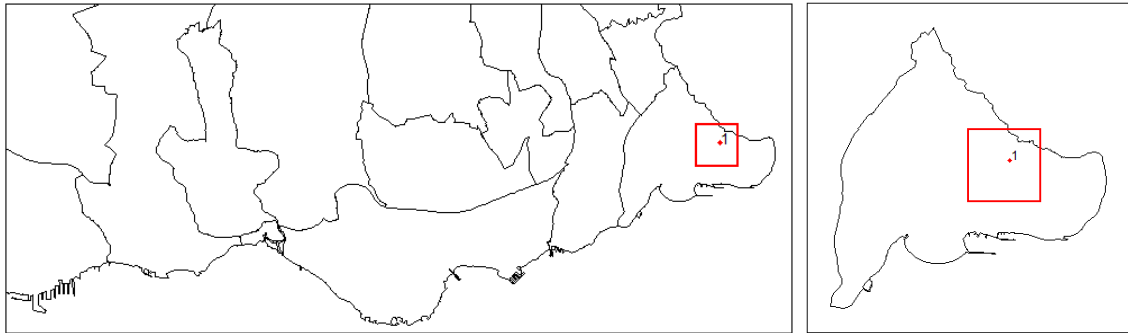
şekil 4.26 Northridge depremi Y bileşenin ana kubbe yüzeyinde ve avlu tarafındaki yarım kubbe yüzeyinde oluşturduğu çekme gerilmeleri detayı (Çizelge 4.8, S11)

4.4.2 Yapı Zemini ve Kocaeli Depremi

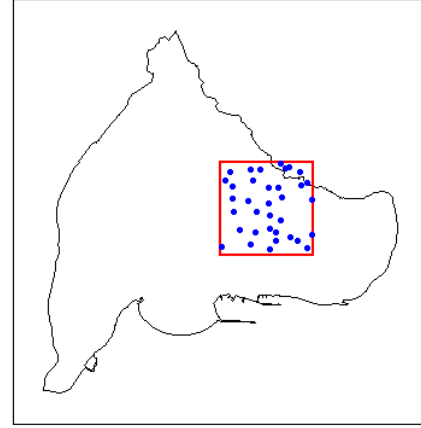
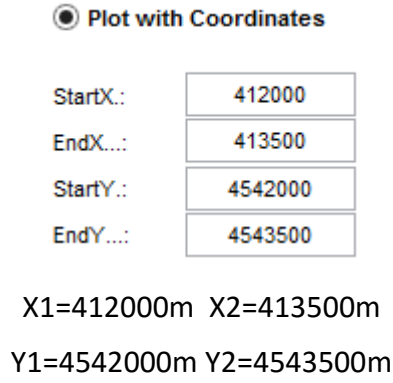
Öncelikle Süleymaniye Camii'nin ITRF (Uluslararası Karasal Referans Çerçevesi) koordinat sistemine göre konumu tespit edilmiştir (Şekil 4.27). Daha sonra yapıyı içine alacak şekilde 1.5km x 1.5km=2.25 km²'lik bir alan Şekil 4.28'de görüldüğü gibi oluşturulmuştur. Bu alanın ITRF koordinat sistemine göre X yönündeki koordinatları 412000m ve 413500m aralığında, Y yönündeki koordinatları ise 4542000m ve 4543500m aralığındadır (Şekil 4.29).



Şekil 4.27 Süleymaniye Camii'nin ITRF koordinat sistemine göre konumu
(x=412854.065 m, y=4542861.450 m)



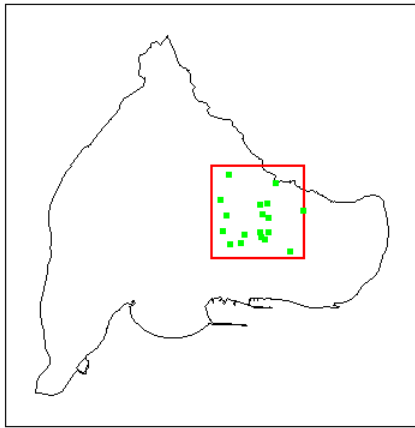
Şekil 4.28 Süleymaniye Camii'ni içerisine alan bölgenin seçimi



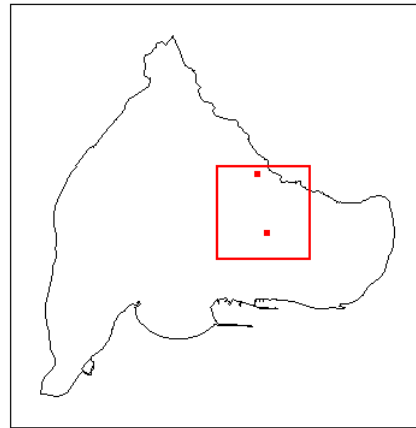
Şekil 4.29 Seçilen bölgenin koordinatları

Şekil 4.30 Seçili bölgede yer alan 35 adet sondaj verisinin konumları

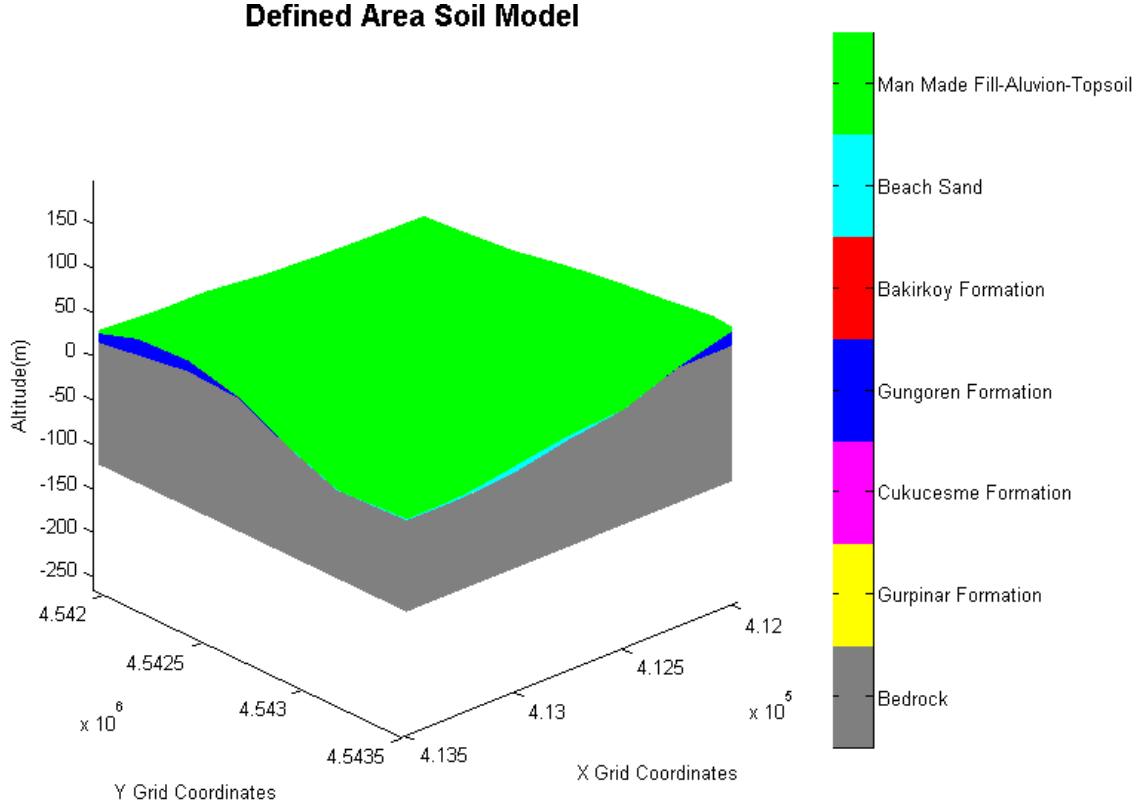
Oluşturulan alan içerisine daha önce yapılmış olan zemin etüt çalışmaları kullanılarak model oluşturulacaktır. Bu alan içerisinde 35 adet sondaj verisi (Şekil 4.30), 18 adet ReMi (Refraction Microtremor) verisi (Şekil 4.31) ve 2 adet derin sondaj PS Log verisi (Şekil 4.32) yer almaktadır. Bu veriler, İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) veri tabanında mevcut olup, Uluslararası MarDim (Marmara Disaster Mitigation) projesi kapsamında yapılan protokole bağlı olarak analiz edilmiştir. Modelin oluşturulmasında ve deprem dalgalarının büyütmesi ve bölgedeki yer hareketlerinin belirlenmesinde Doç. Dr. Abdurrahman Şahin ve çalışma grubu tarafından halen geliştirilmekte olan yazılım sistemleri kullanılmıştır [71]. Bu verilerin analiz edilmesi sonucunda, seçili alanın 3 boyutlu zemin modeli Şekil 4.33'deki, ana kaya yüzeyi de Şekil 4.34'de görüldüğü gibi elde edilmiştir.



Şekil 4.31 Seçili bölgede yer alan 18 adet ReMi verisinin konumları

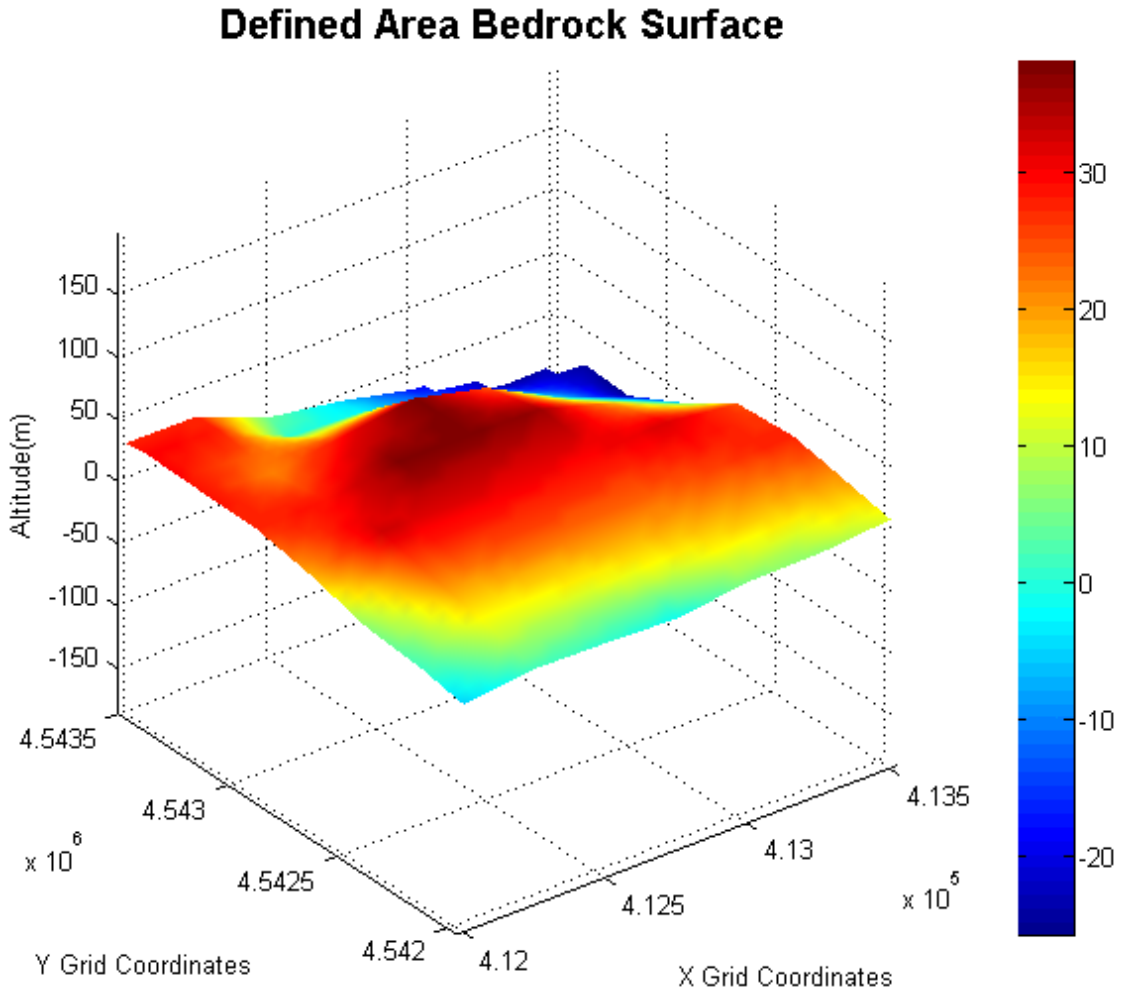


Şekil 4.32 Seçili bölgede yer alan 2 adet PsLog verisinin konumları



Şekil 4.33 Seçilen bölge için oluşturulmuş olan zemin modeli

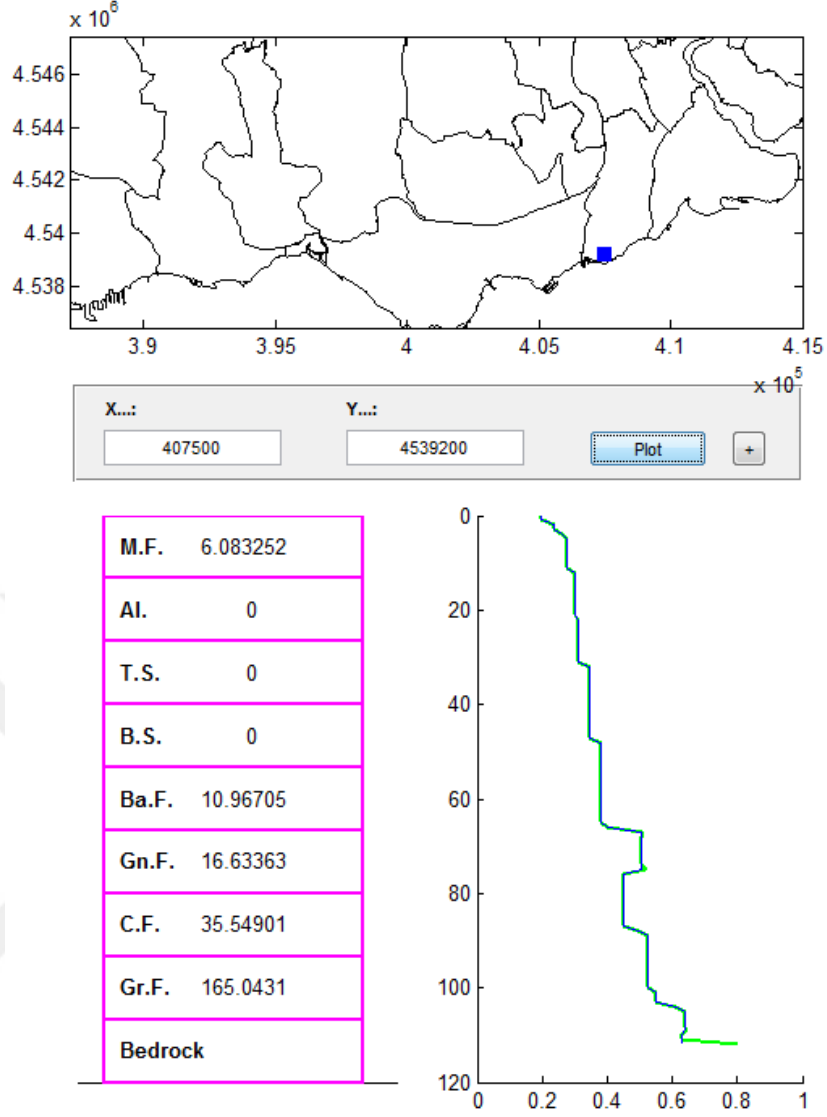
Şekil 4.33'de verilen Zemin modeli incelendiğinde, ana kayanın yaklaşık olarak yüzey üzerinde olduğu ve bölgenin rijit bir zemin yapısına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.34'deki ana kaya yüzey eğrisi incelendiğinde yaklaşık olarak zemin modelinin yüzey tabakası ile aynı kotlarda olduğu anlaşılmaktadır. Rijit bir bölgede zemin hareketlerinin düşük periyot ve yüksek frekanslarda olduğu düşünüldüğünde, bu bölgedeki tarihi yapılarında rijit yapılar olması, deprem esnasında yaklaşık frekanslar dolayısı ile deprem etkilerinde büyütme ve rezonans riskine sebep olabilecektir.



Şekil 4.34 Ana kaya yüzey eğrisi

Zemin modeli oluşturulduktan sonra Kocaeli depremi sırasında bölgeye en yakın istasyonlardan birisi olan Zeytinburnu istasyonundan ölçülen kayıtlar, Ters Fourier dönüşümü ile ana kayaya aktarılacak ve oradan da, ilgili bölgeye taşınacaktır. Buradan da, seçili bölgenin deprem tehlike simülasyonları yapılacak ve Süleymaniye Camii'ne etki edecek olan yer hareketleri tespit edilerek deprem simülasyonları yapılacaktır.

İstanbul'un Zeytinburnu ilçesinde bulunan istasyonun koordinatları ve Şişman [72] tarafından bölgesel veri çalışmalarından yararlanılarak oluşturulan bu noktaya ait zemin tabakaları, yükseklikleri ve kayma dalgası hızları grafikleri Şekil 4.35'de gösterilmiştir.

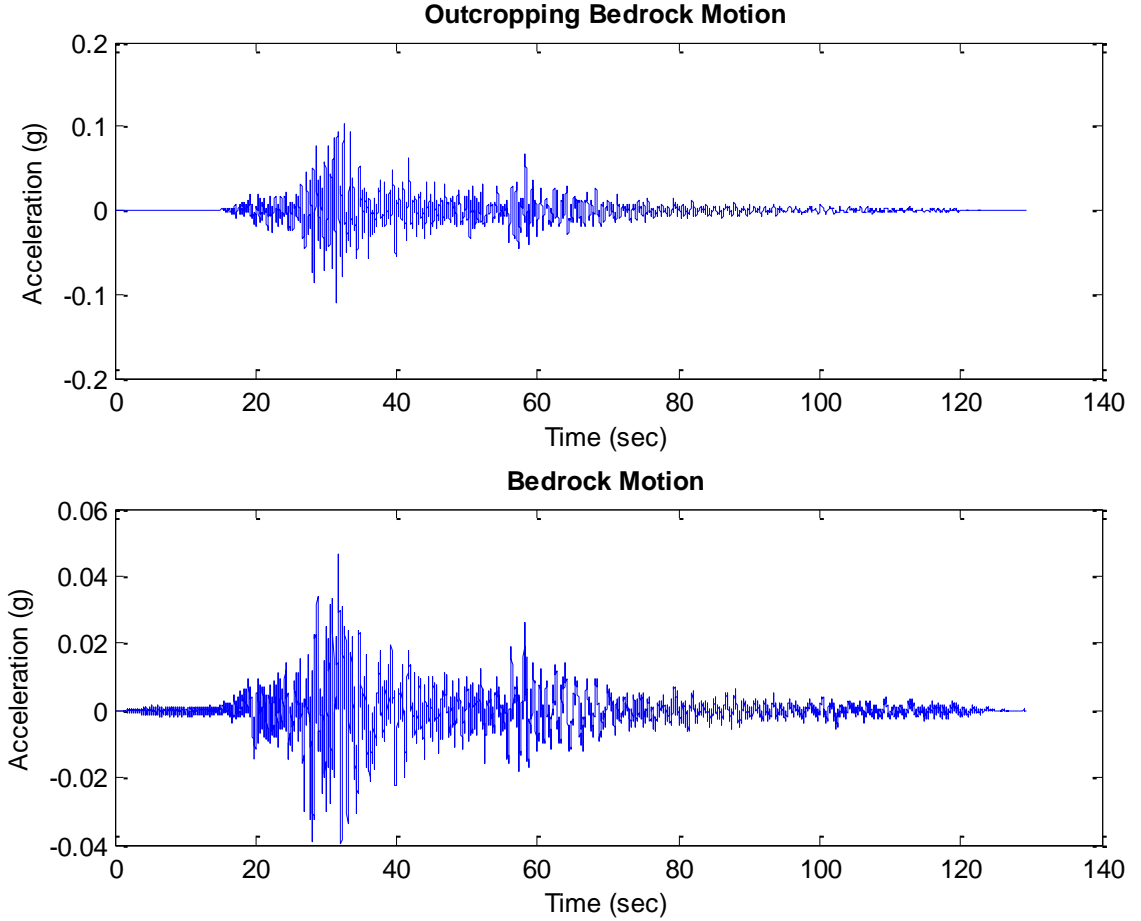


Şekil 4.35 Zeytinburnu istasyonu zemin modeli [72]

“Şekilde gösterilen modelin ilk 6.08 metresi yapay dolgu tabakası ile kaplı olup birim hacim ağırlığı 1.8 t/m³ ve kayma dalgası hızı 236 m/s’dir. Dolgudan sonra ilk olarak 10.97 metre boyunca Bakırköy Formasyonu başlamıştır, birim hacim ağırlığı 1.9 t/m³ ve kayma dalgası hızı 278 m/s’dir. Ardından gelen 16.63 metrelik Güngören Formasyonu’nun birim hacim ağırlığı 1.9 t/m³ ve kayma dalgası hızı 310 m/s’dir. Modelin sonlarına doğru derinliği 35.55 metre, birim hacim ağırlığı 1.95 t/m³ ve kayma dalgası hızı 348 m/s olan Çukurçeşme Formasyonu’na rastlanmıştır. Son formasyon olarak ise uzunluğu modelin en yüksek değeri olan, kayma dalgası hızı 630 m/s ve birim hacim ağırlığı 2 t/m³ değerinde, 165.04 metre kalınlığında Gürpınar Formasyonu görülmektedir. Toplam 234.27 metre derinlikte bulunan ana kayanın ise birim hacim ağırlığı 2.2 t/m³ ve kayma dalgası hızı 870 m/s olarak belirlenmiştir” [51].

4.4.2.1 X Yönündeki Deprem Kaydı

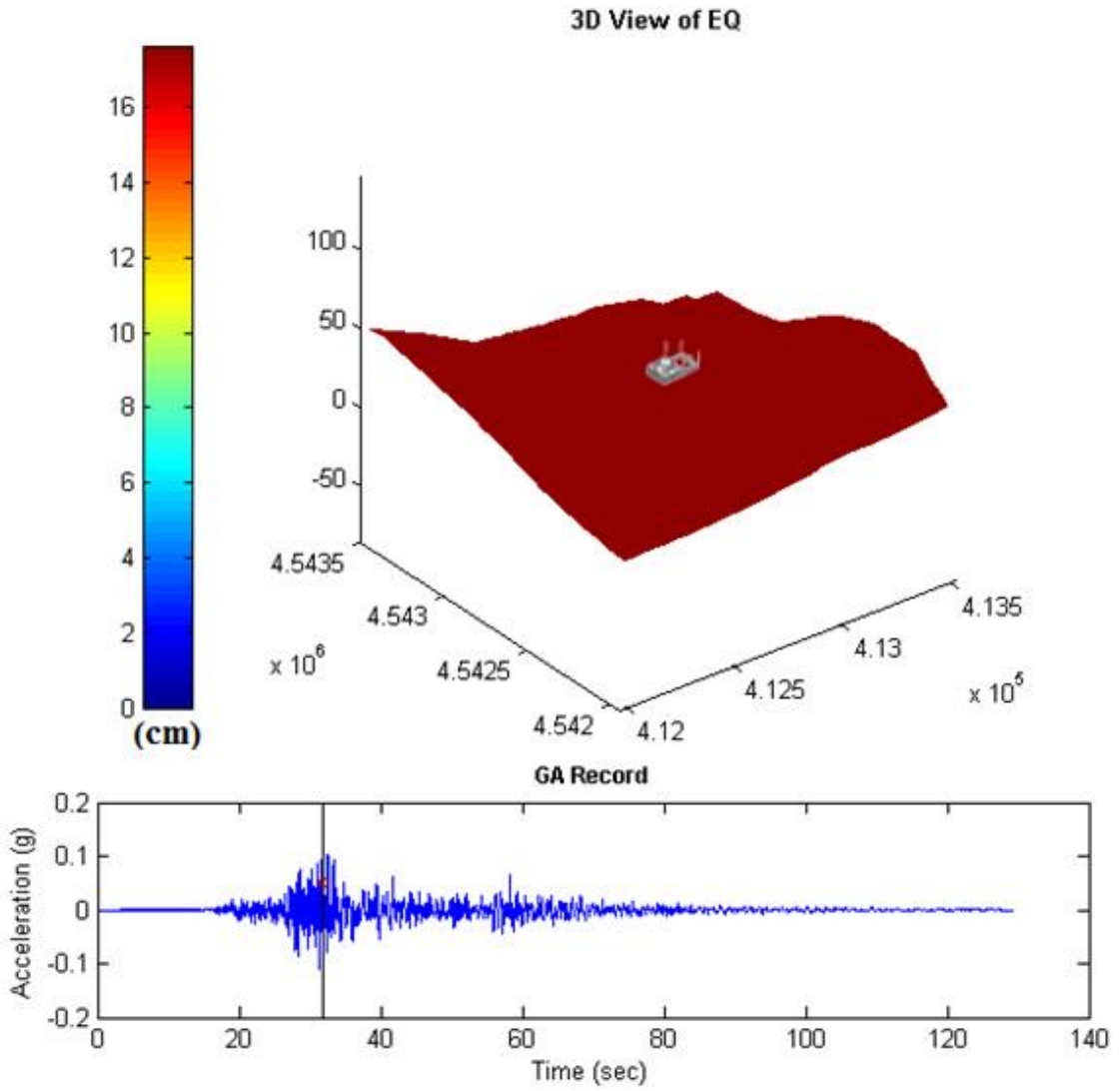
1999 Kocaeli depremi sırasında Zeytinburnu İstasyonunda alınan deprem kaydının X yönündeki bileşeni ve bu bileşene Ters Fourier dönüşümü uygulanması sonucu ana kayaya taşınan ivme dağılımı Şekil 4.36'da gösterilmektedir.



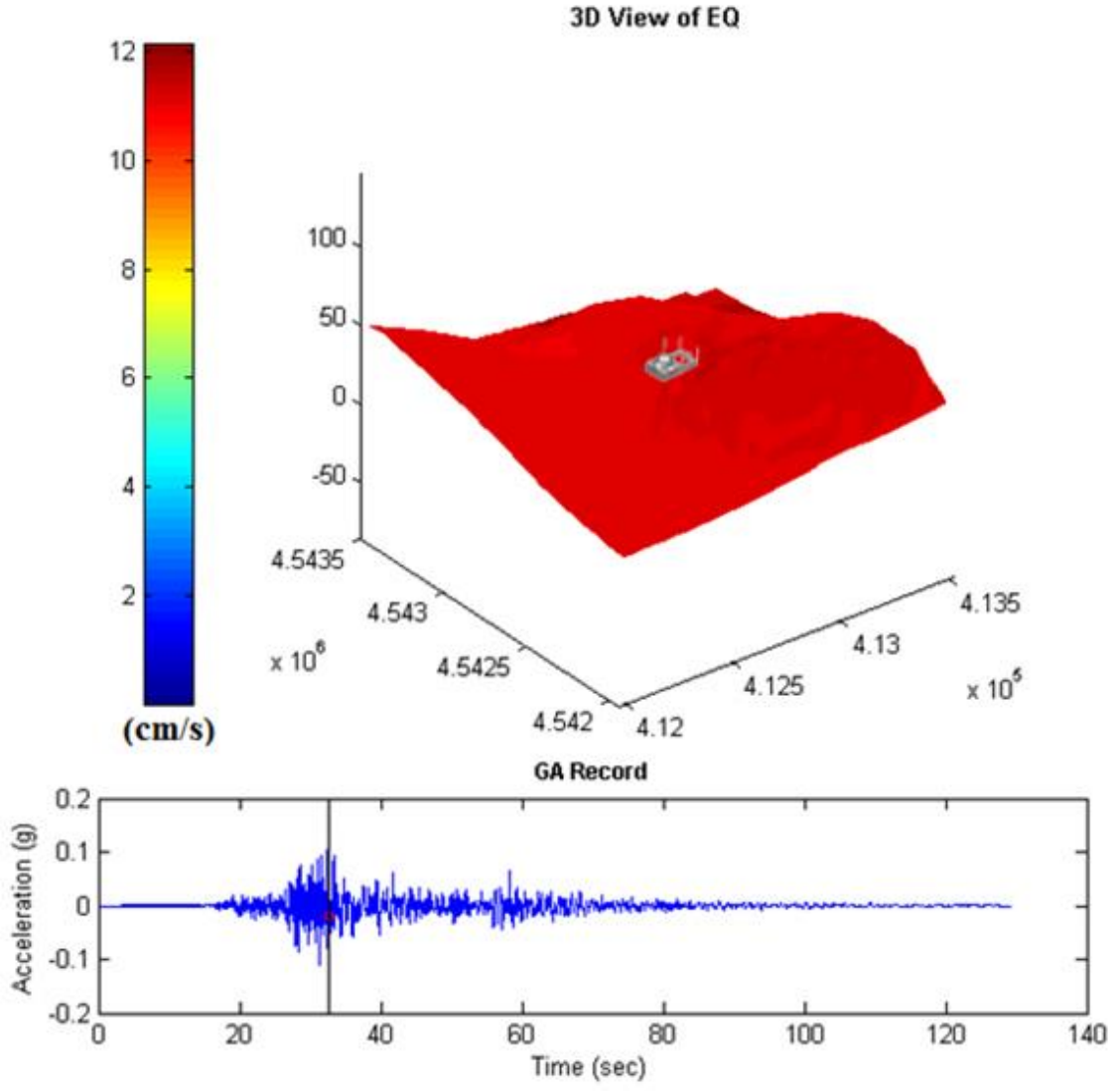
Şekil 4.36 Zeytinburnu istasyonunda ölçülen deprem kaydının x yönündeki bileşeni ve ana kayaya taşınmış hali

Ana kayaya taşınan Kocaeli deprem kaydı yatay bileşeni daha sonra seçili alana taşınmış, ana kayanın üzerinde zemin tabası olan noktalarda büyütme işlemi gerçekleştirilmiştir. Süleymaniye Camii'nin bulunduğu konumda genel olarak ana kaya yüzeye yakın olduğundan, deprem hareketi yaklaşık olarak her noktada eşit yer değiştirme yapmıştır. En büyük yer değiştirme dağılımı Şekil 4.37'de görüldüğü gibidir. En büyük yer değiştirme, depremin 31.75 inci saniyesinde görülmüştür ve değeri yaklaşık olarak 17.64 cm'dir. En büyük hız dağılımı Şekil 4.38'de görüldüğü gibidir. En büyük hız, depremin 32.75 inci saniyesinde görülmüştür ve değeri yaklaşık olarak 12.16 cm/s'dir. En büyük

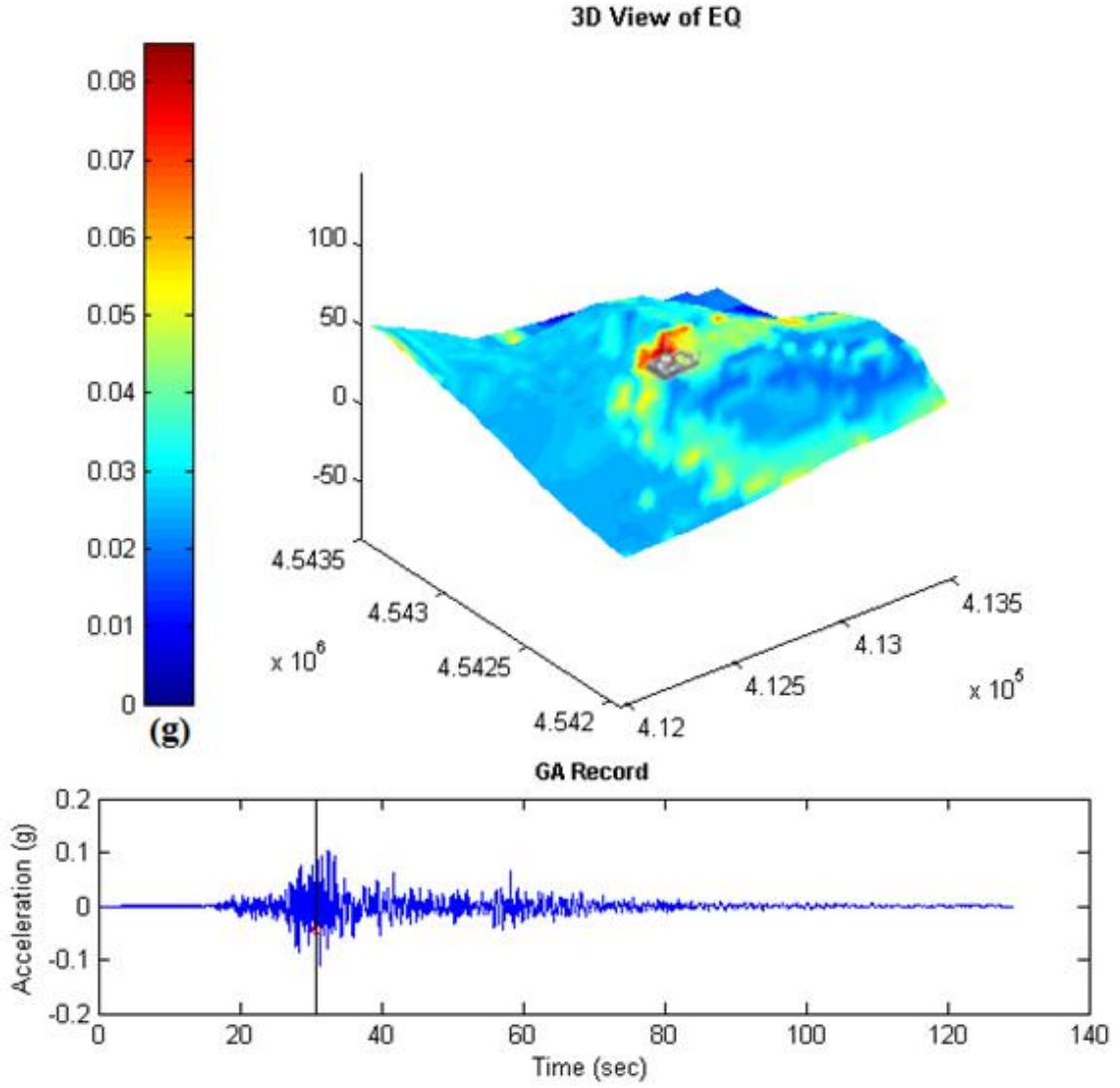
ivme dağılımı Şekil 4.39'da görüldüğü gibidir. En büyük ivme, depremin 30.915'inci saniyesinde görülmüştür ve değeri yaklaşık olarak 0.085 g'dir.



Şekil 4.37 Seçili bölgede gözlemlenen en büyük yer değiştirme dağılımı

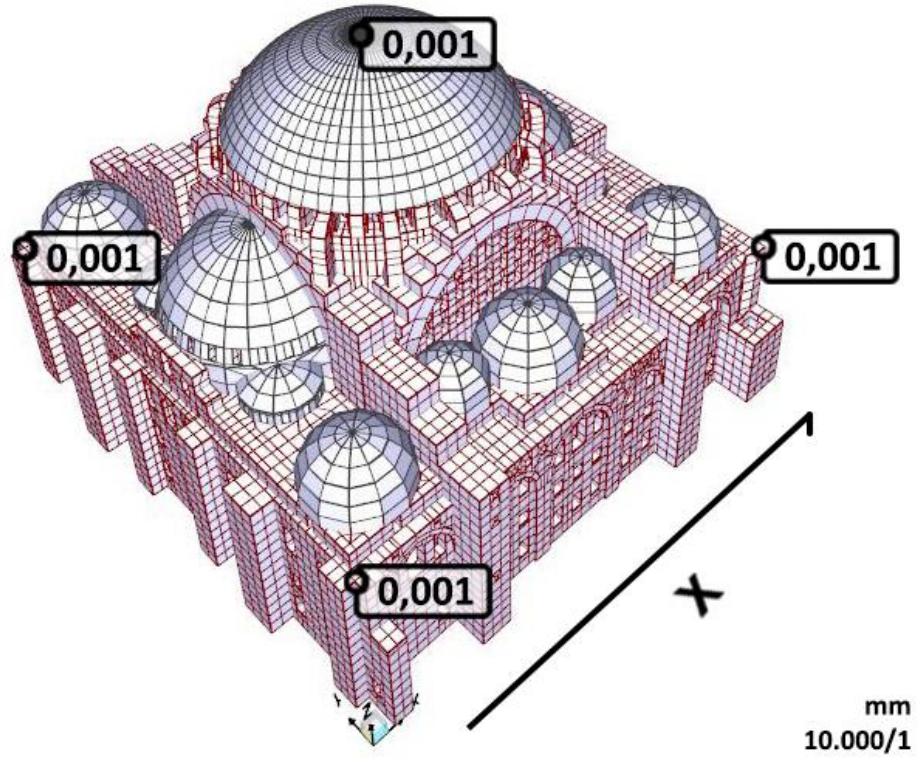
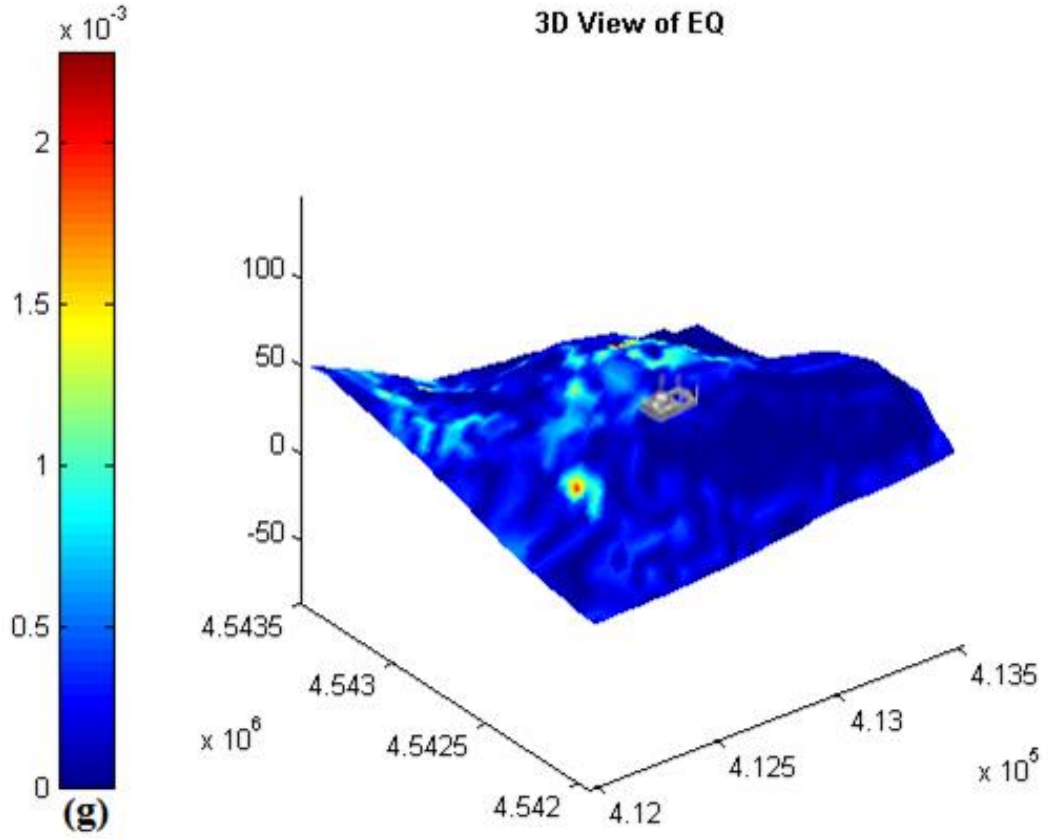


Şekil 4.38 Seçili bölgede gözlemlenen en büyük hız dağılımı

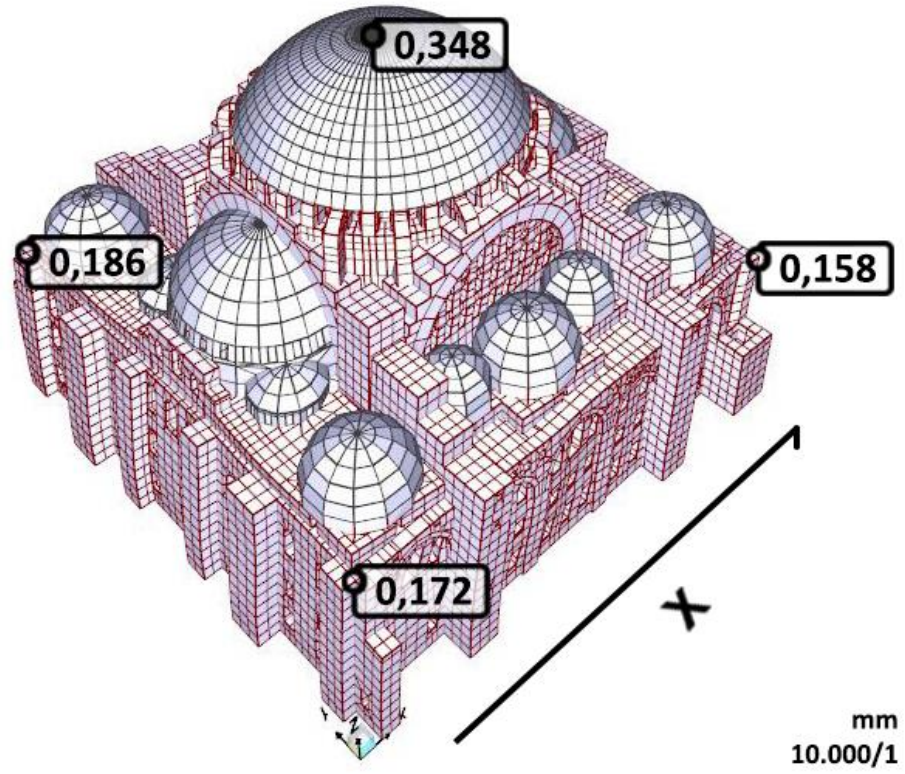
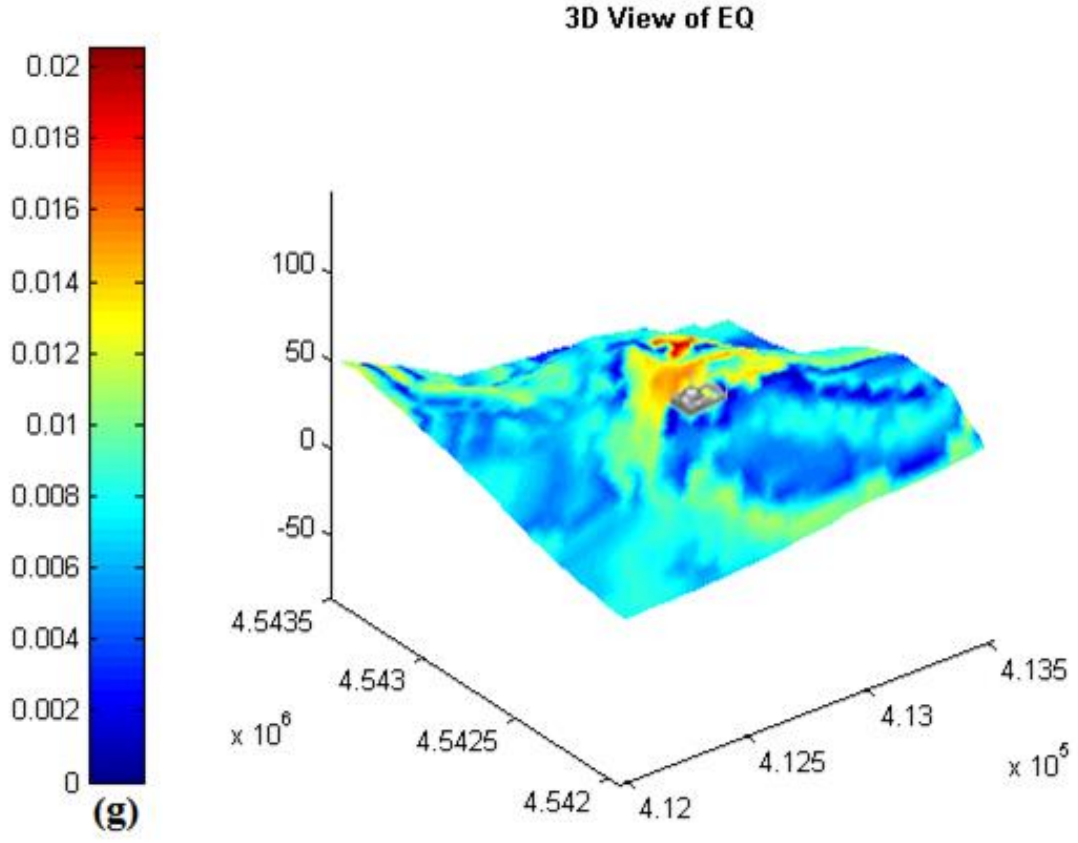


Şekil 4.39 Seçili bölgede gözlemlenen en büyük ivme dağılımı

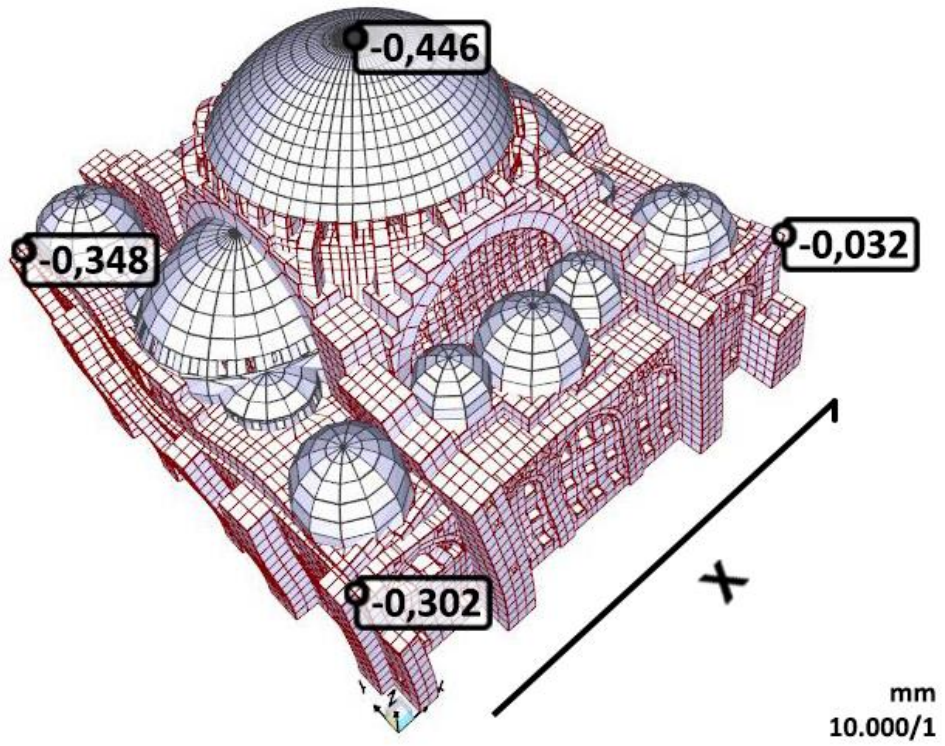
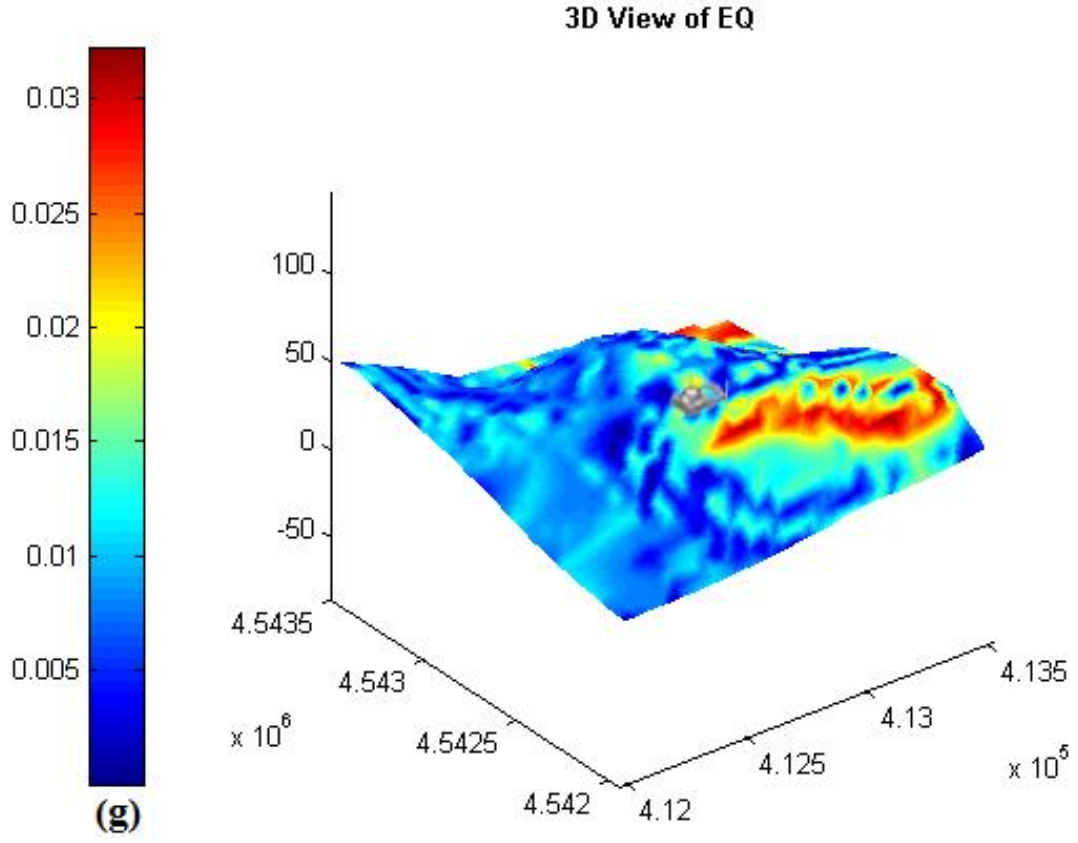
Seçili alan üzerinde Kocaeli depreminin yatay (X) bileşeninin her 10 sn deki etkisi ile meydana gelen ivme dağılımları ve Süleymaniye Camii ana yapısının yapmış olduğu yer değiştirme davranışları Şekil 4.40'da gösterildiği gibidir. Süleymaniye Camii tabanının oturduğu yüzeyde tespit edilen ivme grafiği Şekil 4.46'da, yer değiştirme grafiği ise Şekil 4.47'de gösterildiği gibidir.



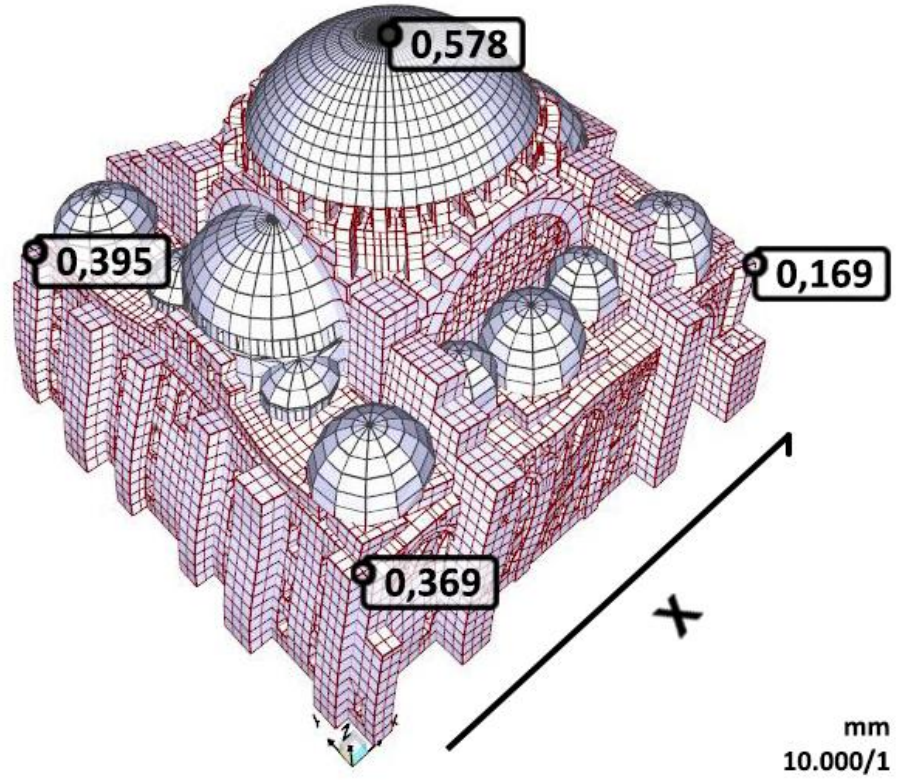
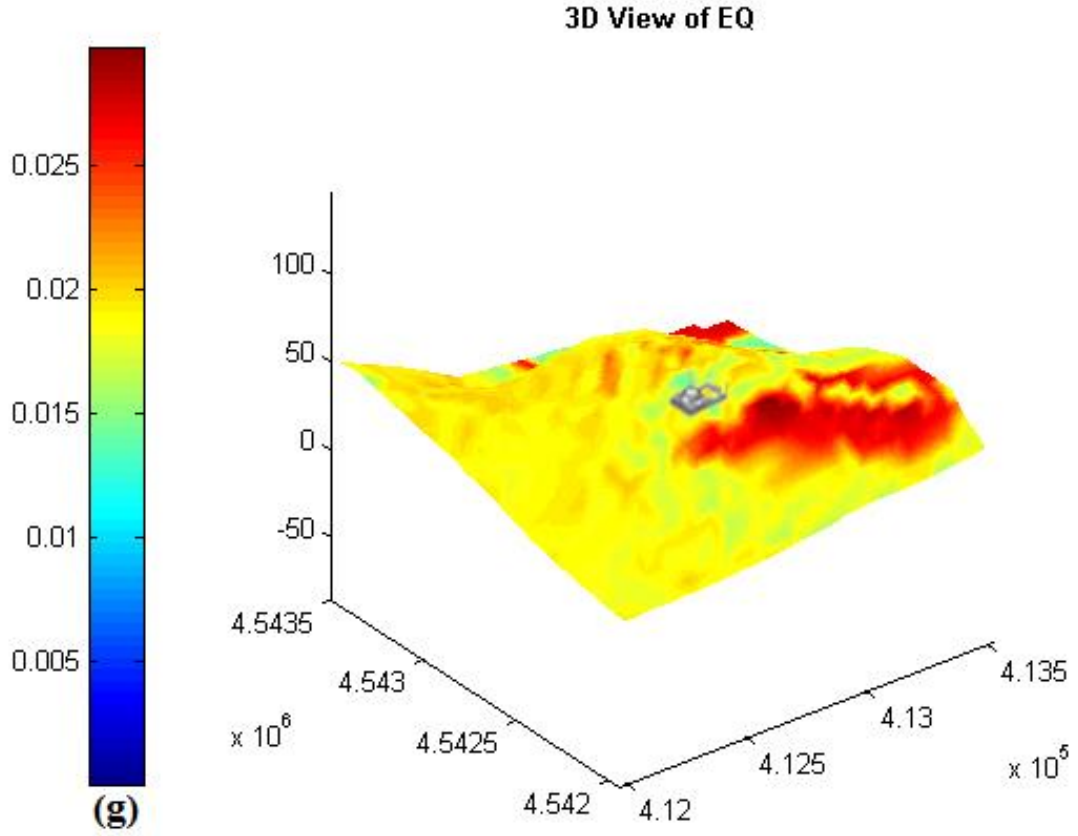
Şekil 4.40.a Depremin X bileşeni etkisiyle $t=10\text{sn}$ anında bölgede oluşan ivme dağılımı (g) ve ana yapının yer değıştirme şekli (Değerler deprem yönünde ve mm cinsindedir)



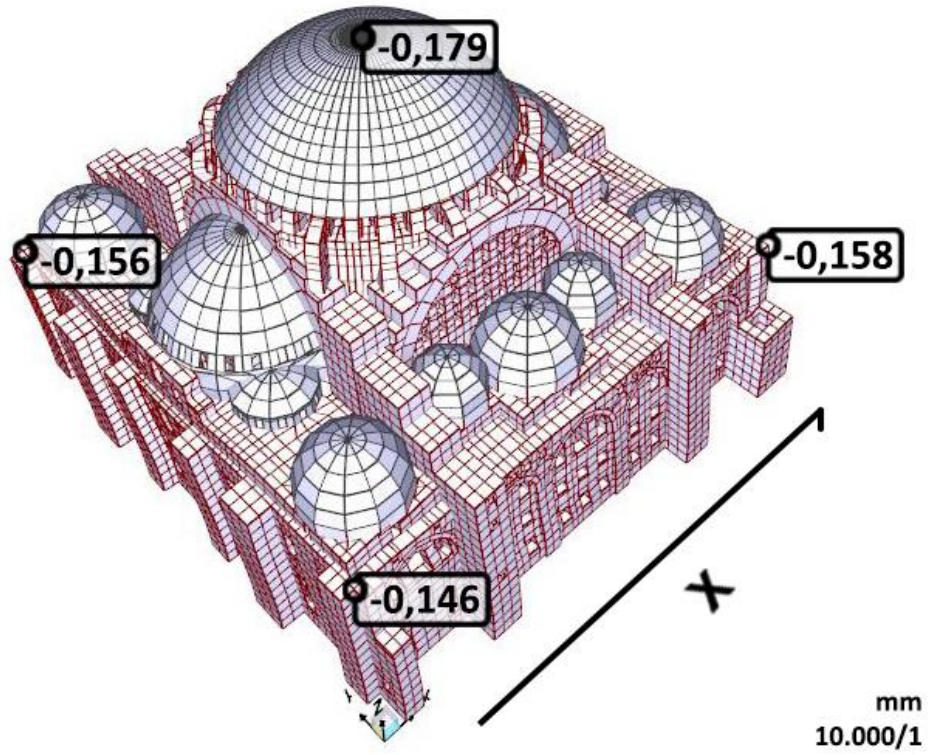
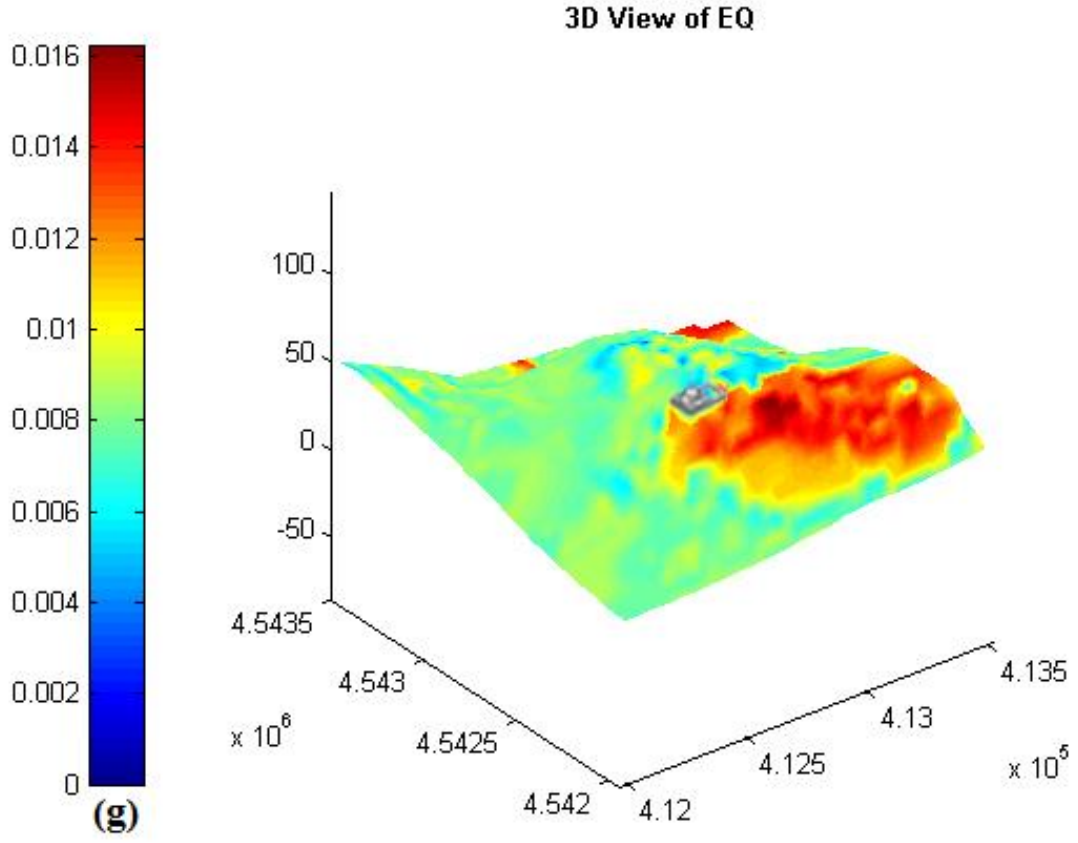
Şekil 4.40.b Depremin X bileşeni etkisiyle t=20sn anında bölgede oluşan ivme dağılımı (g) ve ana yapının yer değıştirme şekli (Değerler deprem yönünde ve mm cinsindedir)



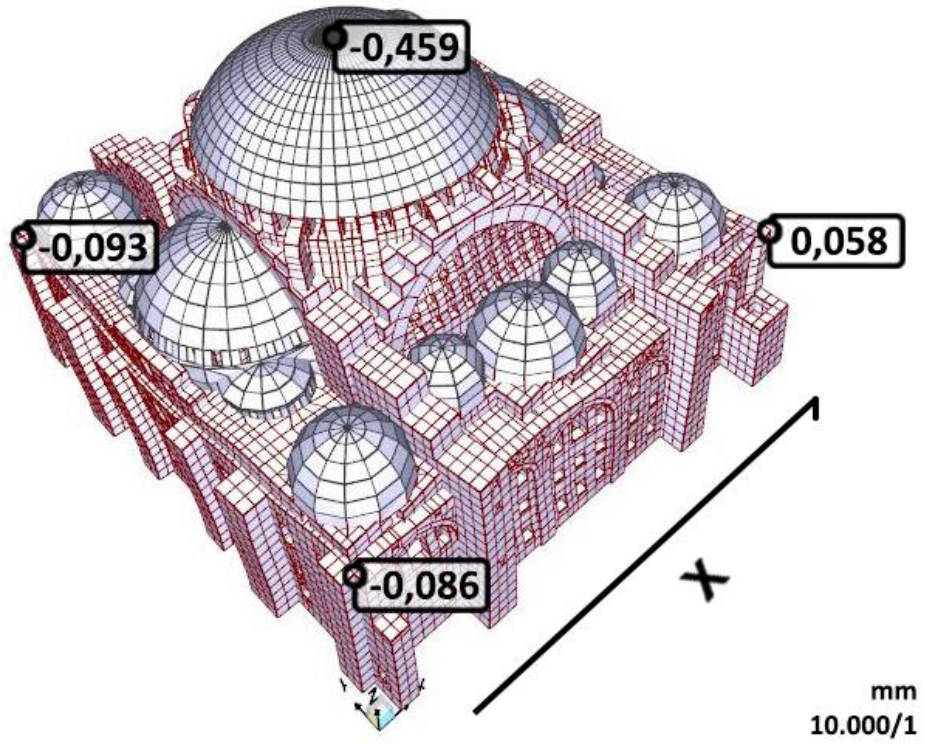
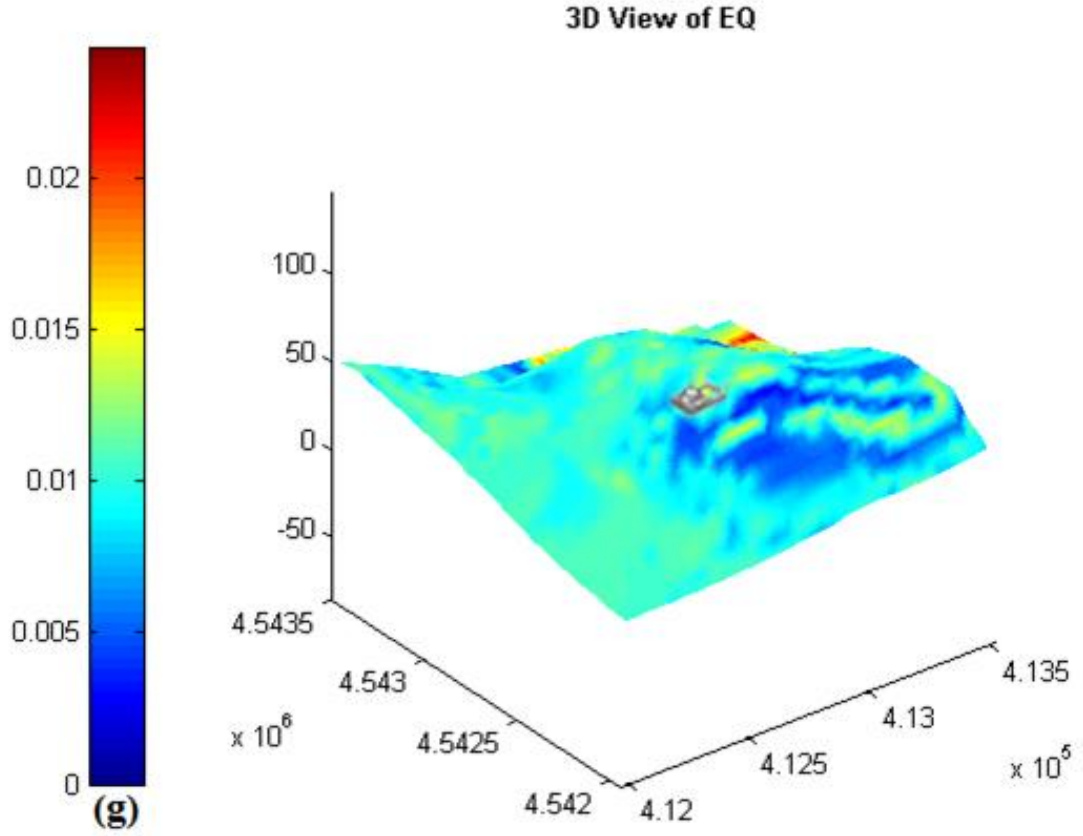
Şekil 4.40.c Depremın X bileşeni etkisiyle t=30sn anında bölgede oluşan ivme dağılımı (g) ve ana yapının yer değıştirme şekli (Değerler deprem yönünde ve mm cinsindedir)



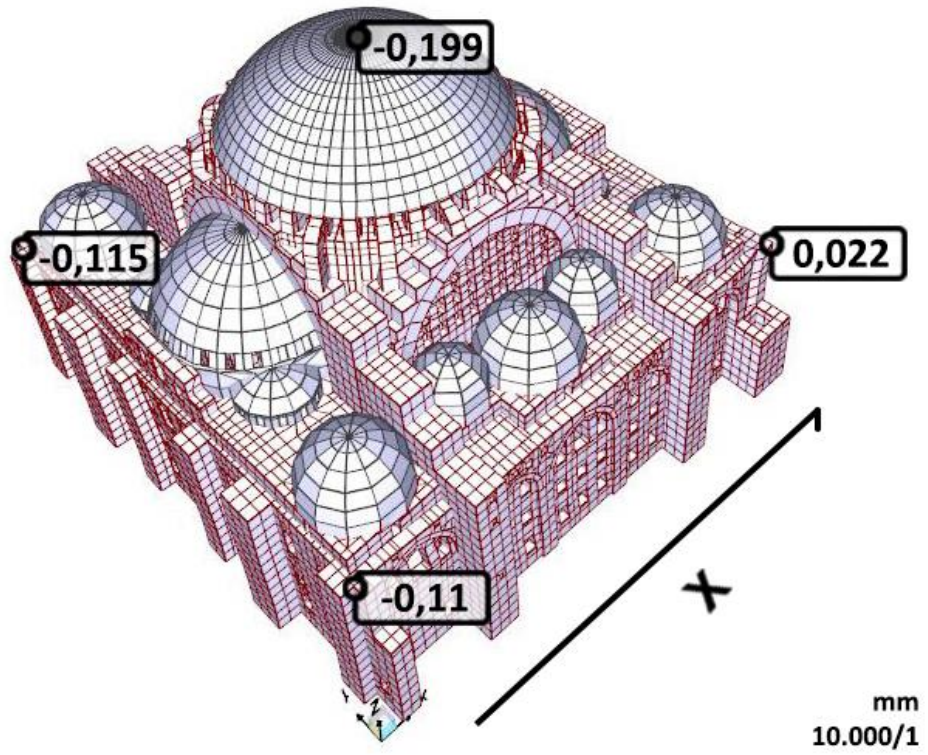
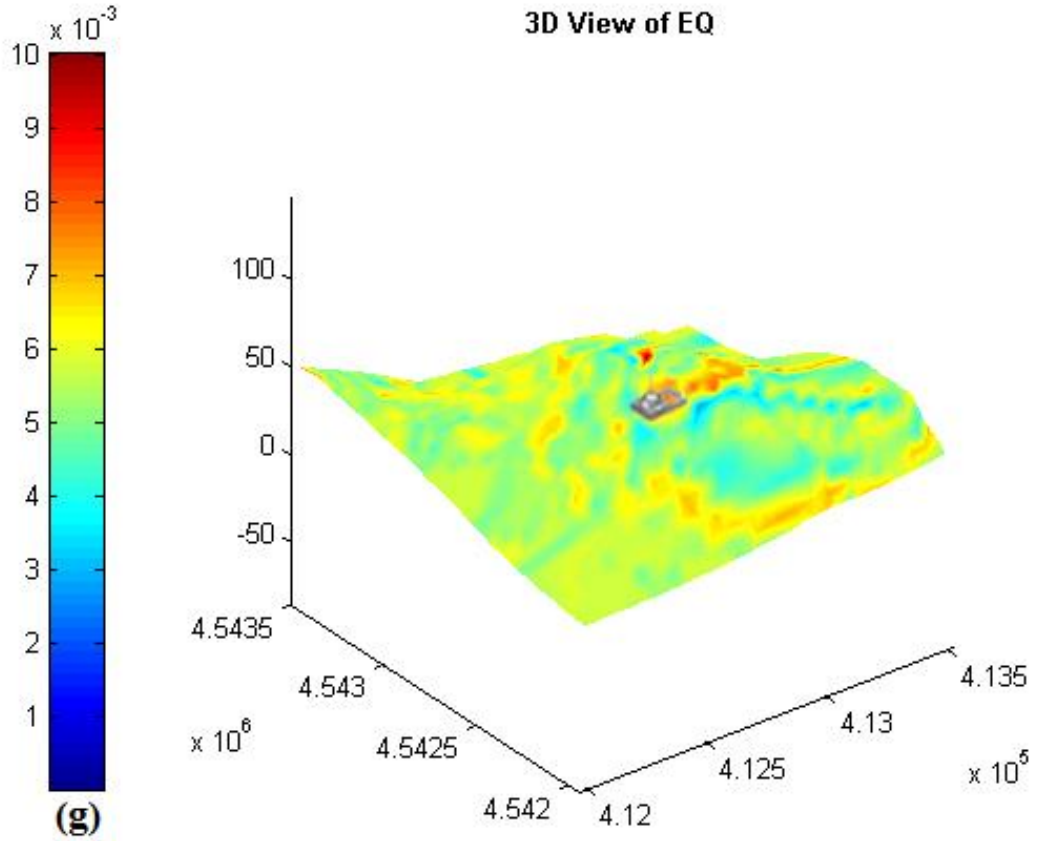
Şekil 4.40.d Depremin X bileşeni etkisiyle t=40sn anında bölgede oluşan ivme dağılımı (g) ve ana yapının yer değıştirme şekli (Değerler deprem yönünde ve mm cinsindedir)



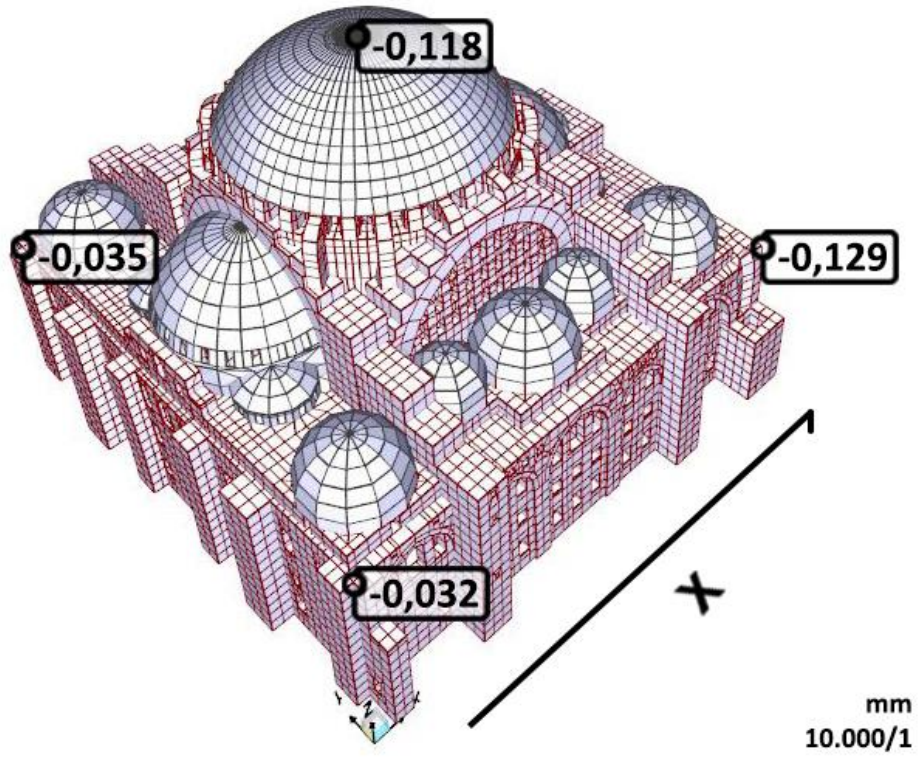
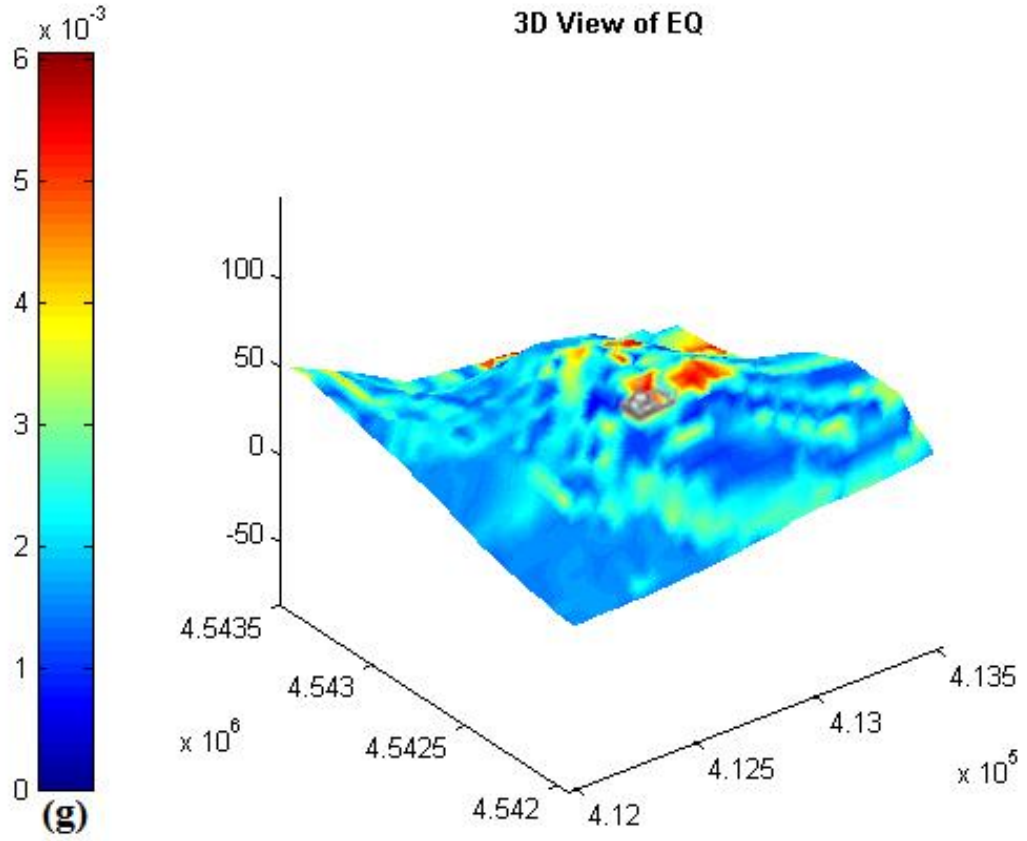
Şekil 4.40.e Depremin X bileşeni etkisiyle t=50sn anında bölgede oluşan ivme dağılımı (g) ve ana yapının yer değıştirme şekli (Değerler deprem yönünde ve mm cinsindedir)



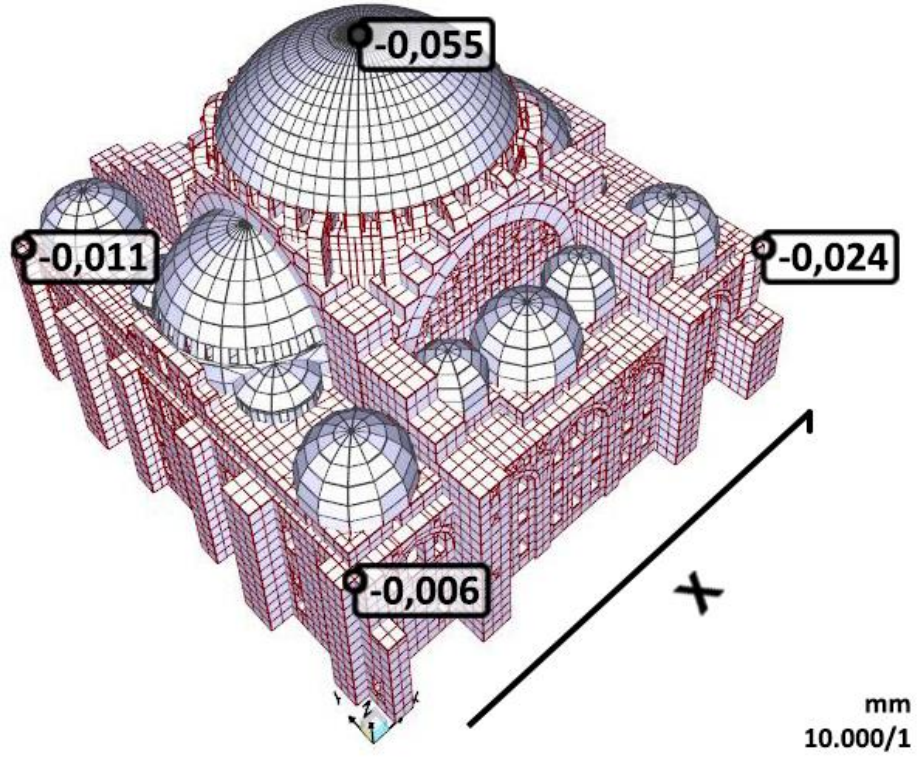
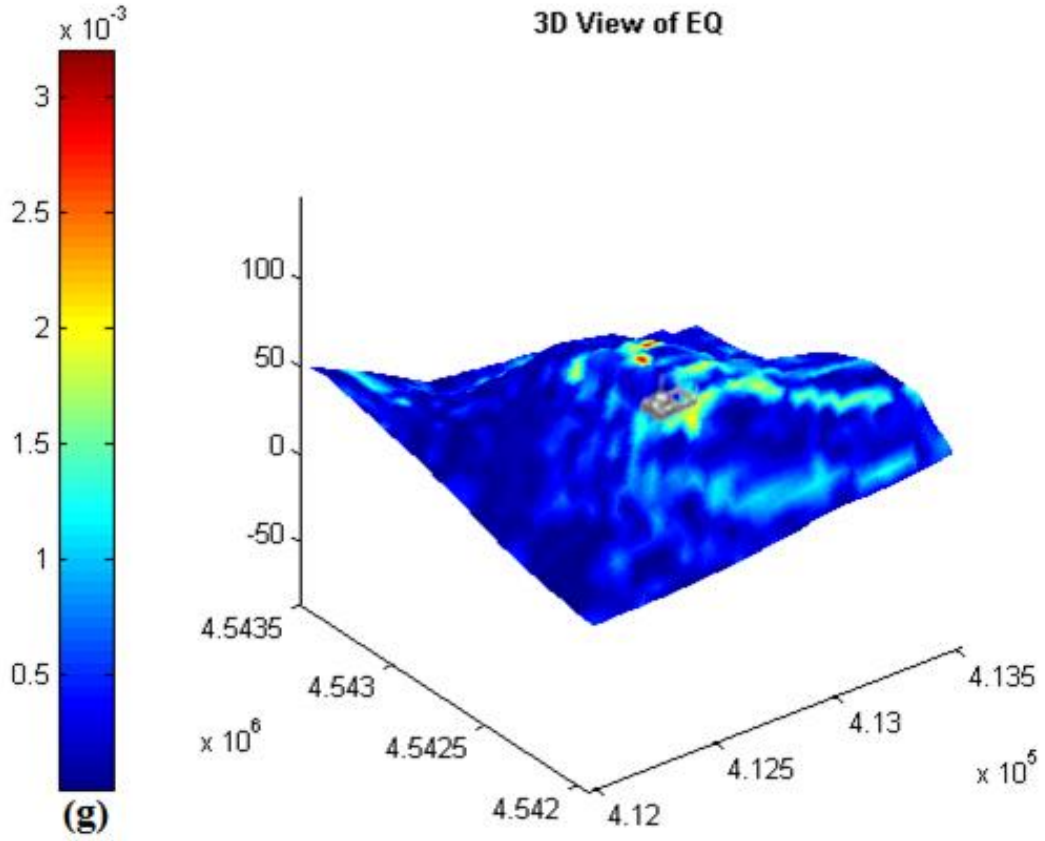
Şekil 4.40.f Depremin X bileşeni etkisiyle t=60sn anında bölgede oluşan ivme dağılımı (g) ve ana yapının yer değıştirme şekli (Değerler deprem yönünde ve mm cinsindedir)



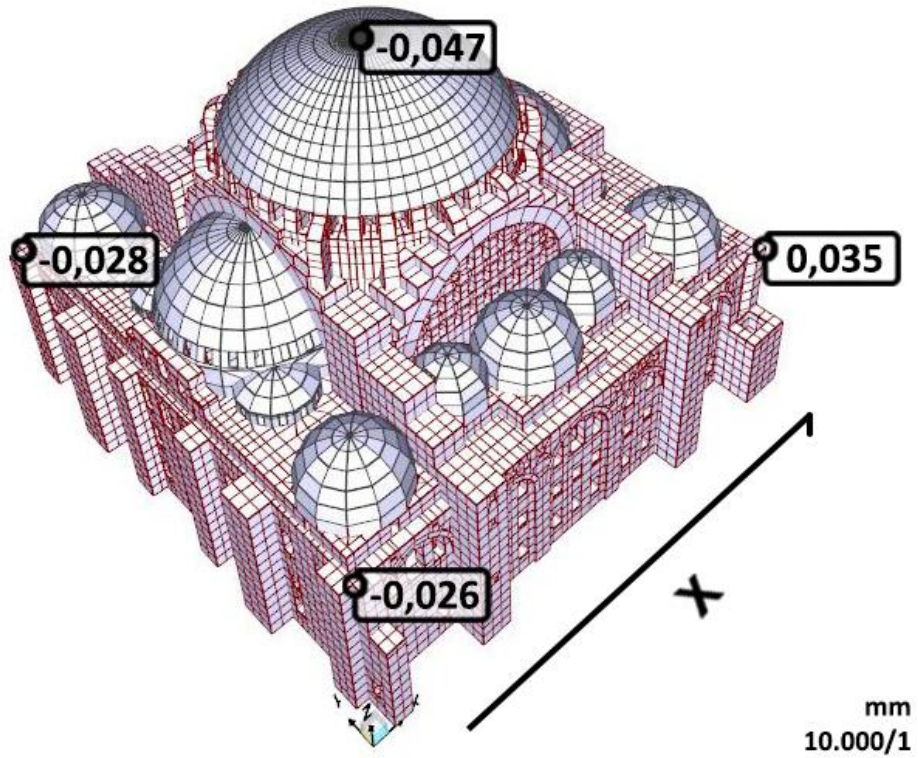
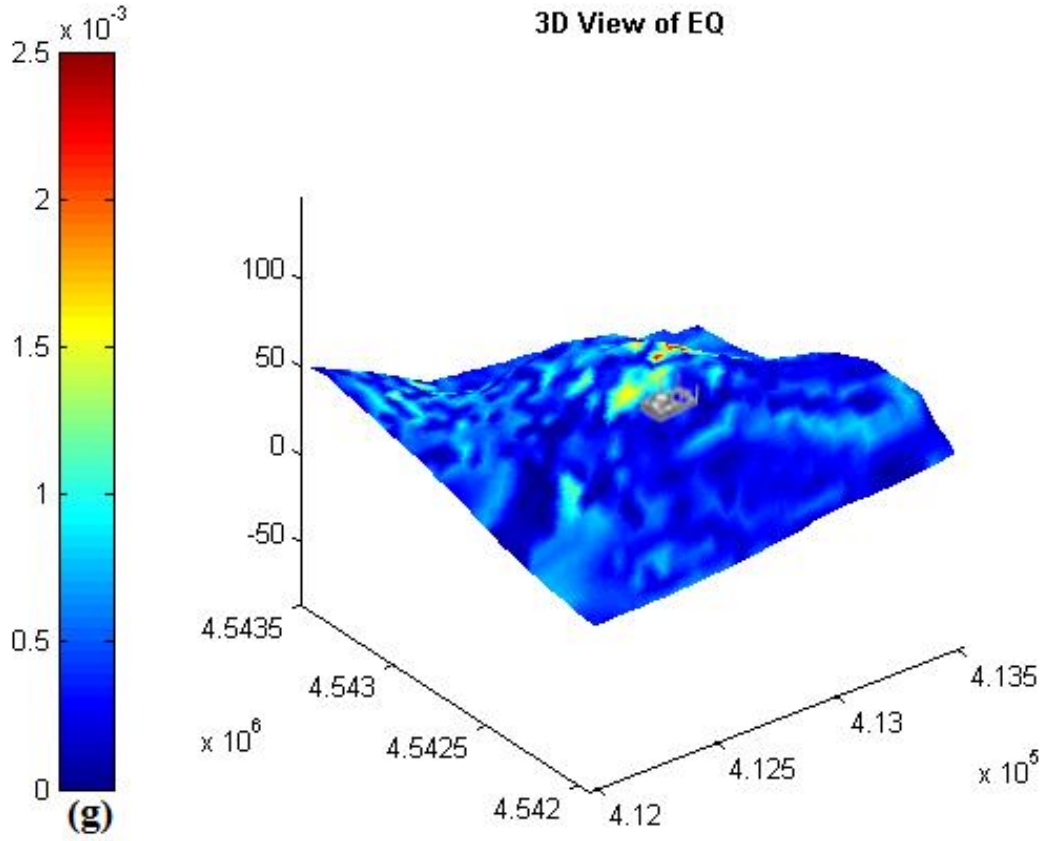
Şekil 4.40.g Depremin X bileşeni etkisiyle t=70sn anında bölgede oluşan ivme dağılımı (g) ve ana yapının yer değıştirme şekli (Değerler deprem yönünde ve mm cinsindedir)



Şekil 4.40.h Depremin X bileşeni etkisiyle t=80sn anında bölgede oluşan ivme dağılımı (g) ve ana yapının yer değıştirme şekli (Değerler deprem yönünde ve mm cinsindedir)



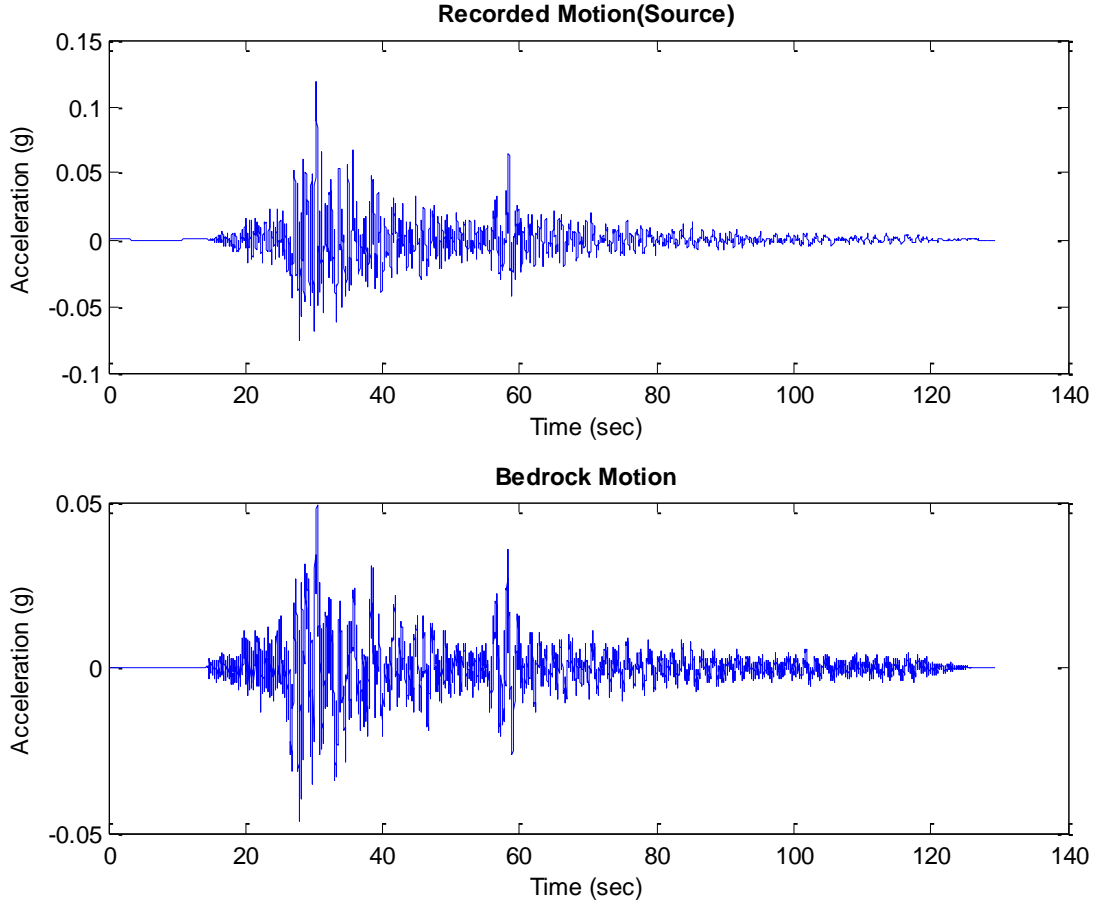
Şekil 4.40.i Depremin X bileşeni etkisiyle $t=90$ sn anında bölgede oluşan ivme dağılımı (g) ve ana yapının yer değiştirme şekli (Değerler deprem yönünde ve mm cinsindedir)



Şekil 4.40.j Depremin X bileşeni etkisiyle t=100sn anında bölgede oluşan ivme dağılımı (g) ve ana yapının yer değıştirme şekli (Değerler deprem yönünde ve mm cinsindedir)

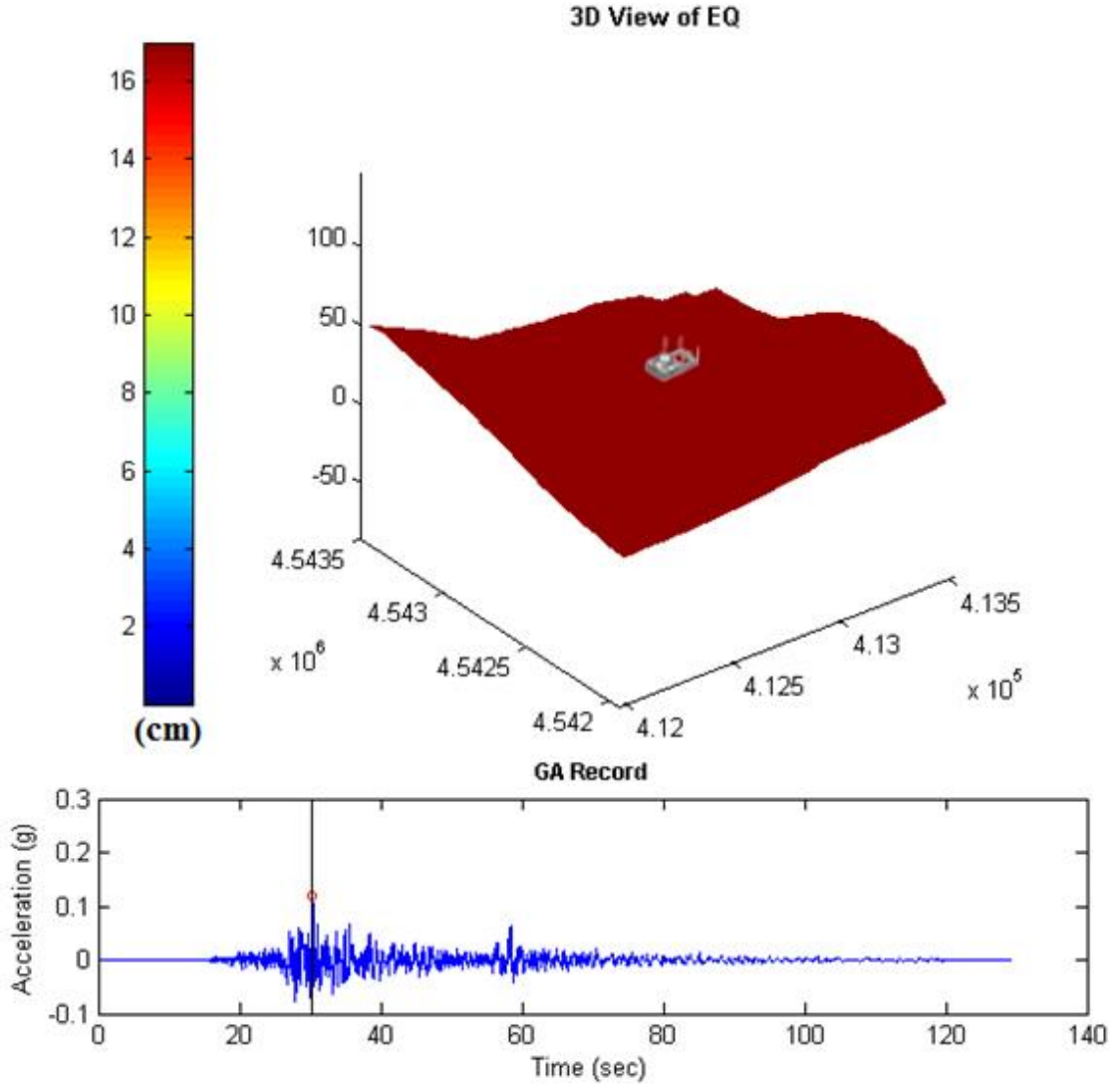
4.4.2.2 Y Yönündeki Deprem Kaydı

1999 Kocaeli depremi sırasında Zeytinburnu İstasyonunda alınan deprem kaydının Y yönündeki bileşeni ve bu bileşene Ters Fourier dönüşümü uygulanması sonucu ana kayaya taşınan ivme dağılımı Şekil 4.41’de gösterilmektedir.

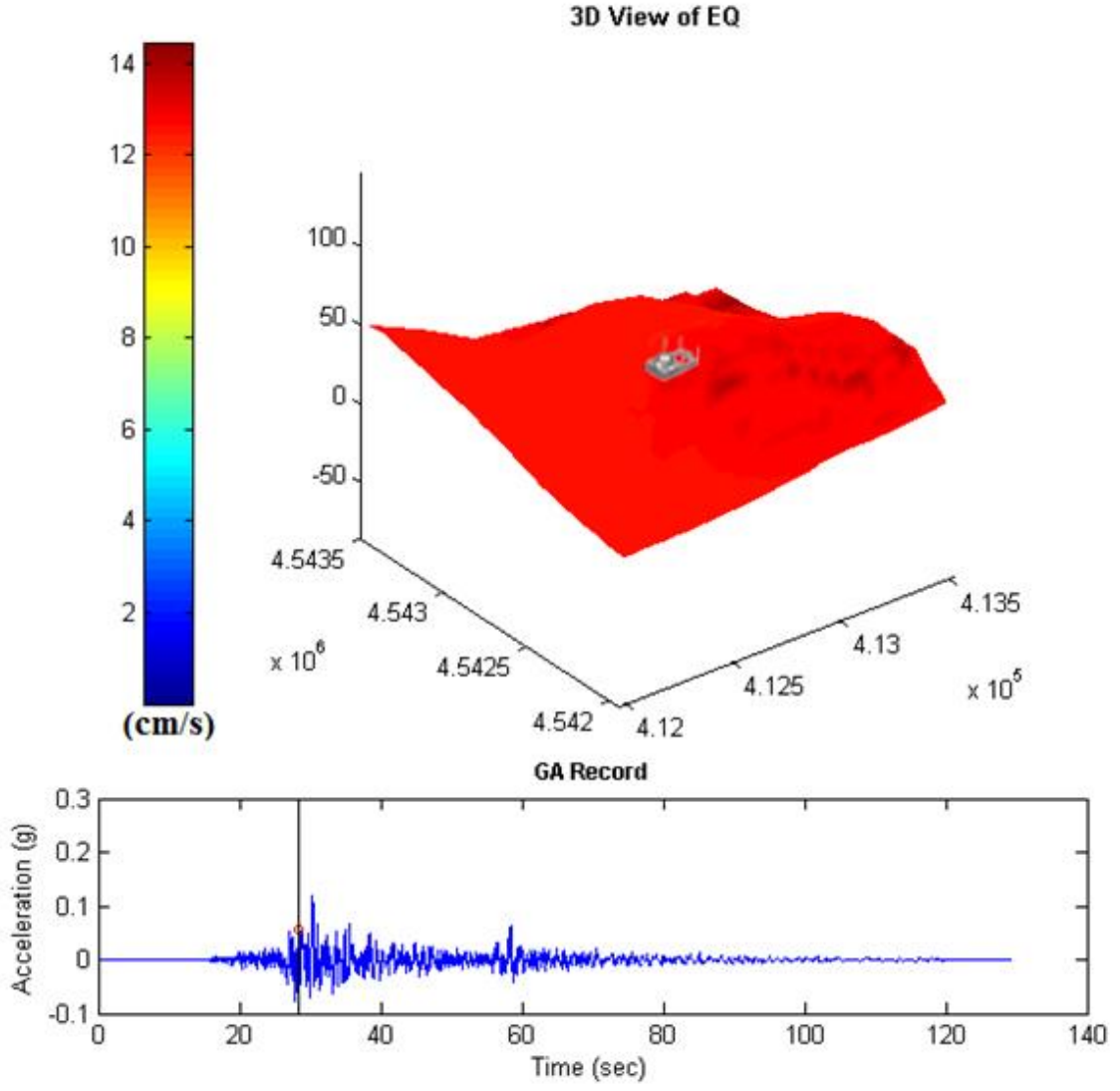


Şekil 4.41 Zeytinburnu istasyonunda ölçülen deprem kaydının y yönündeki bileşeni ve ana kayaya taşınmış hali

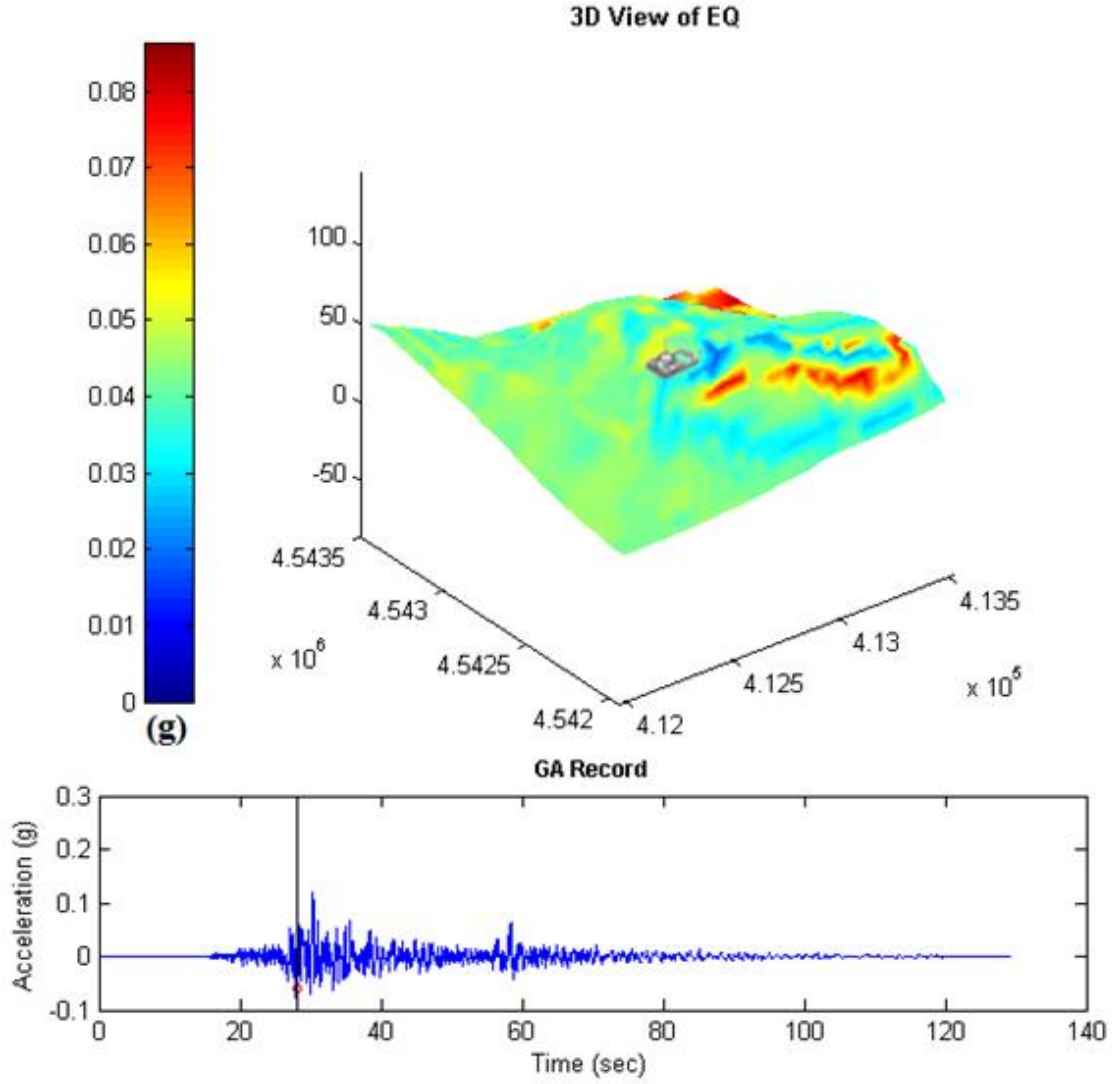
Camii'nin bulunduğu konumda genel olarak ana kaya yüzeye yakın olduğundan, deprem hareketi yaklaşık olarak her noktada eşit yer değiştirme yapmıştır. En büyük yer değiştirme dağılımı Şekil 4.42’de görüldüğü gibidir. En büyük yer değiştirme, depremin 30.37’nci saniyesinde görülmüştür ve değeri yaklaşık olarak 16.99 cm’dir. En büyük hız dağılımı Şekil 4.43’de görüldüğü gibidir. En büyük hız, depremin 28.38 inci saniyesinde görülmüştür ve değeri yaklaşık olarak 14.46 cm/s’dir. En büyük ivme dağılımı Şekil 4.44’de görüldüğü gibidir. En büyük ivme, depremin 28.12’nci saniyesinde görülmüştür ve değeri yaklaşık olarak 0.086 g’dir.



Şekil 4.42 Seçili bölgede gözlemlenen en büyük yer değiştirme dağılımı (cm)

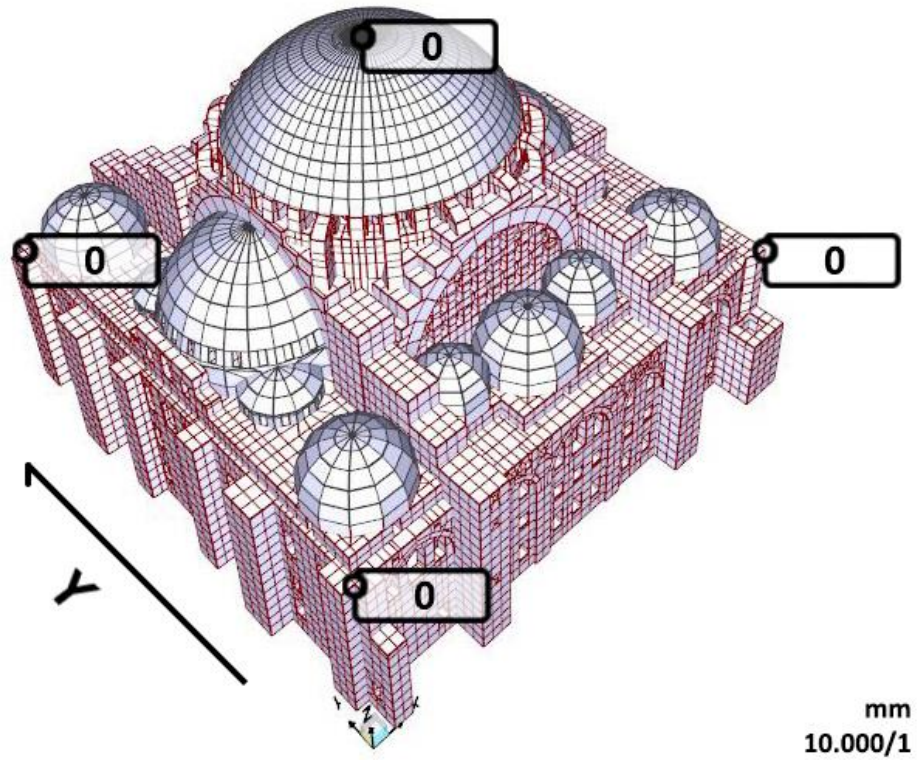
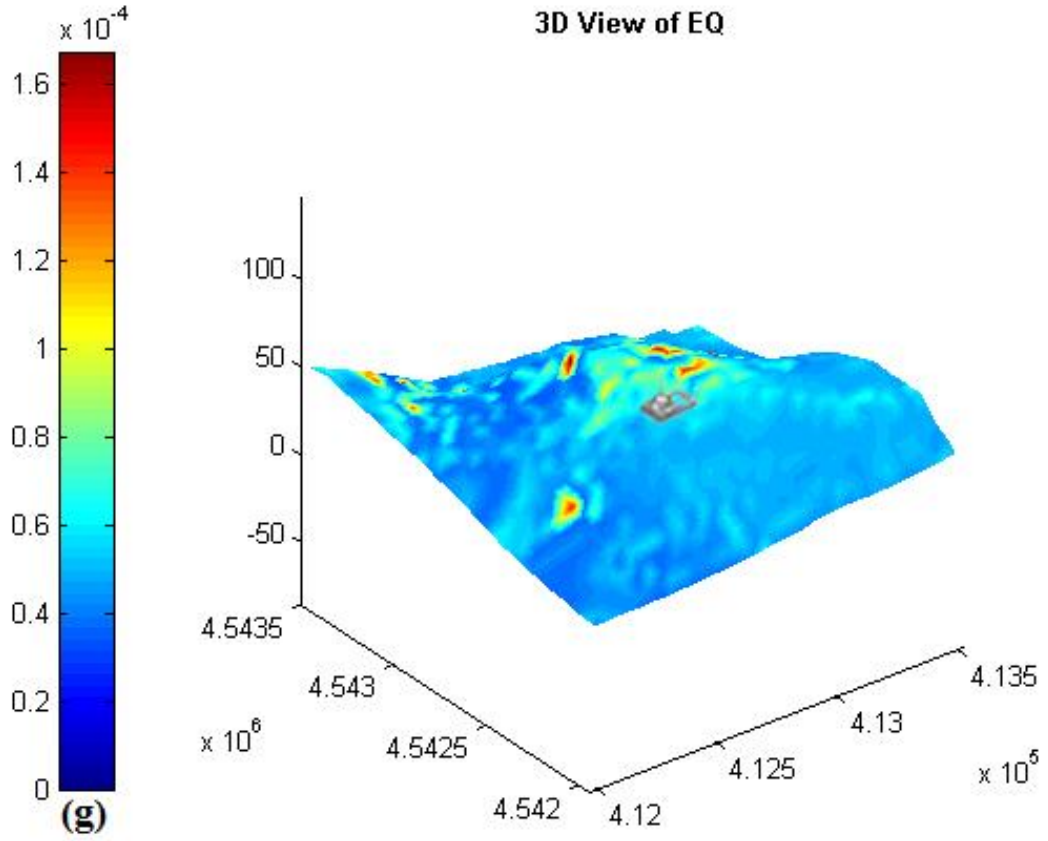


Şekil 4.43 Seçili bölgede gözlemlenen en büyük hız dağılımı (cm/s)

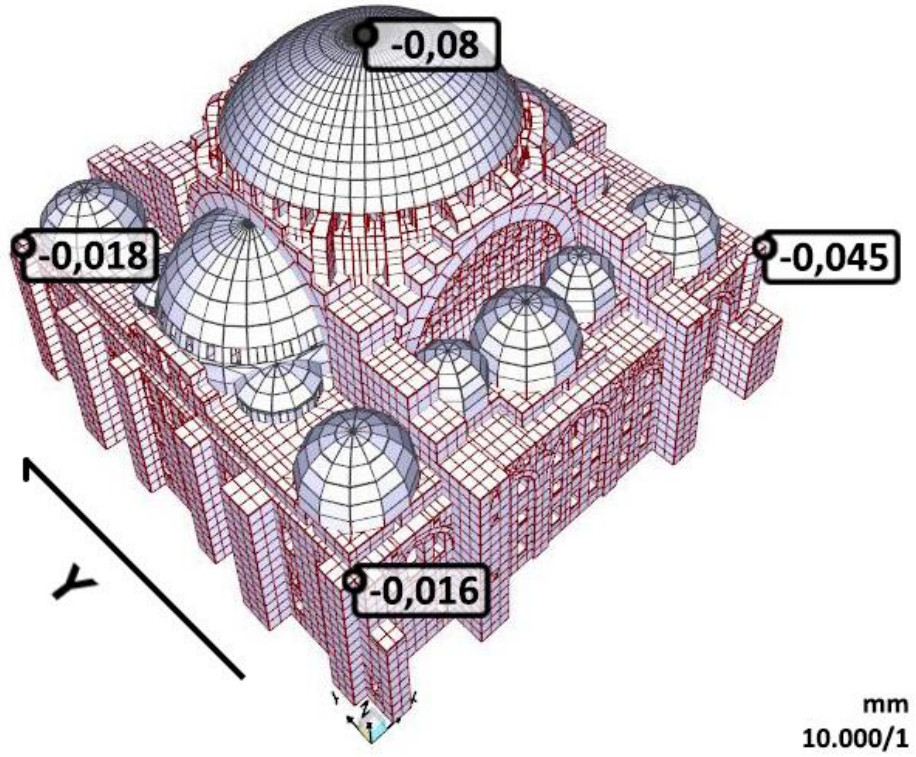
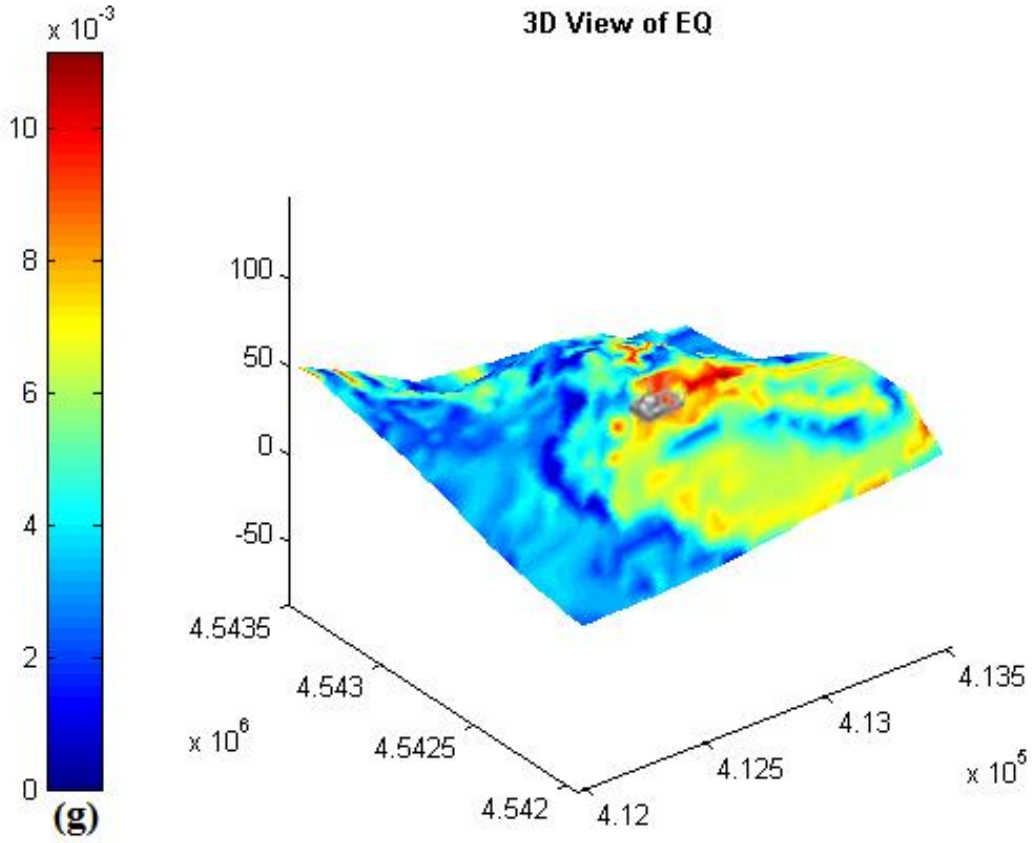


Şekil 4.44 Seçili bölgede gözlemlenen en büyük ivme dağılımı (g)

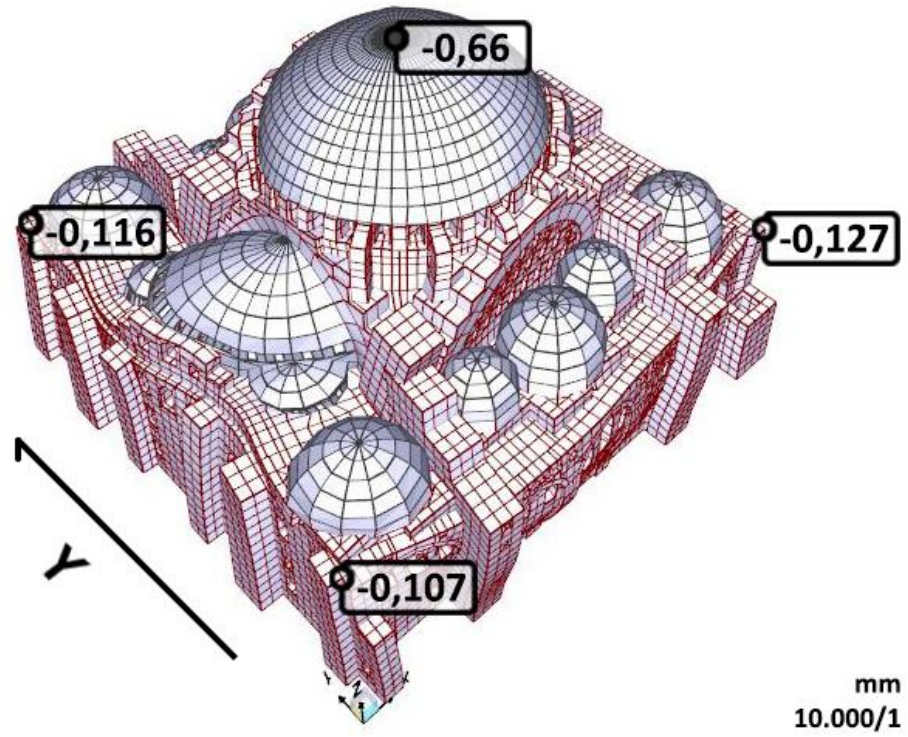
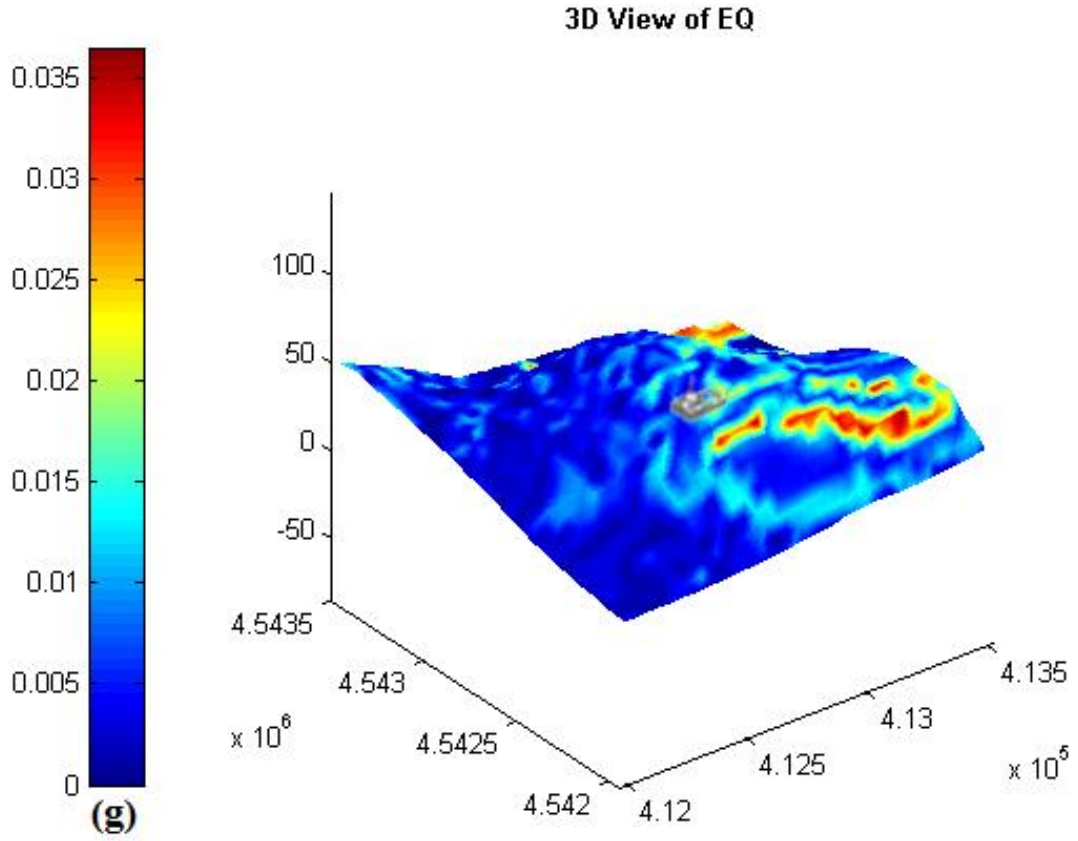
Seçili alan üzerinde Kocaeli depreminin yatay (Y) bileşeninin her 10 sn deki etkisi ile meydana gelen ivme dağılımları ve Süleymaniye Camii ana yapısının yapmış olduğu yer değiştirme davranışları Şekil 4.45’de gösterildiği gibidir. Süleymaniye Camii tabanının oturduğu yüzeyde tespit edilen ivme grafiği Şekil 4.46’da, yer değiştirme grafiği ise Şekil 4.47’de gösterildiği gibidir.



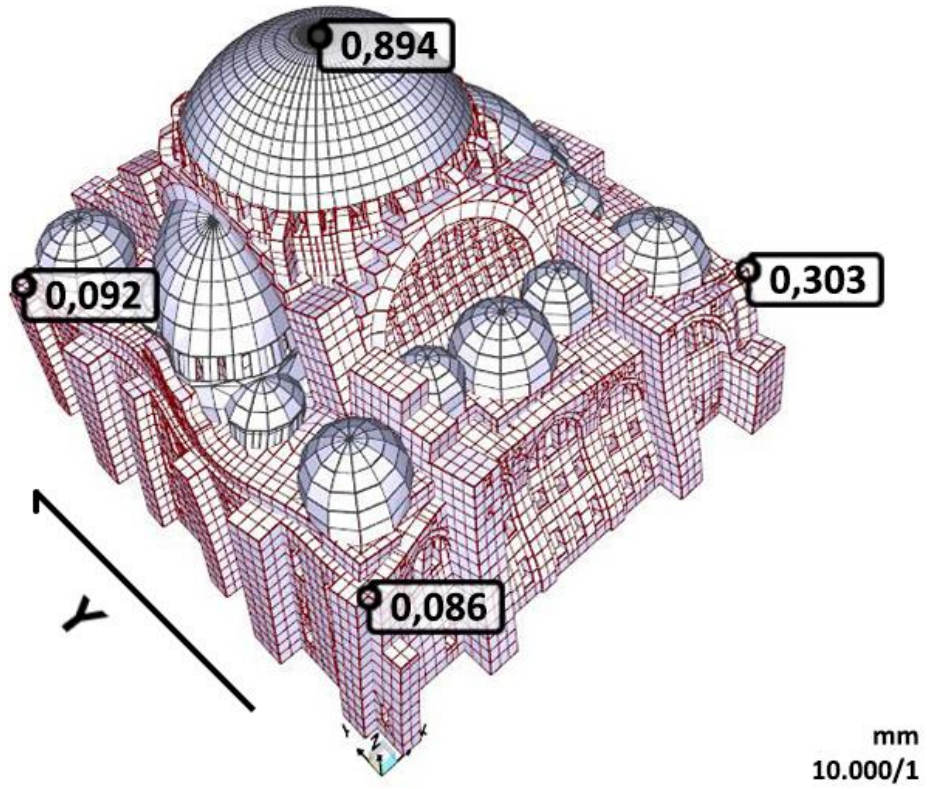
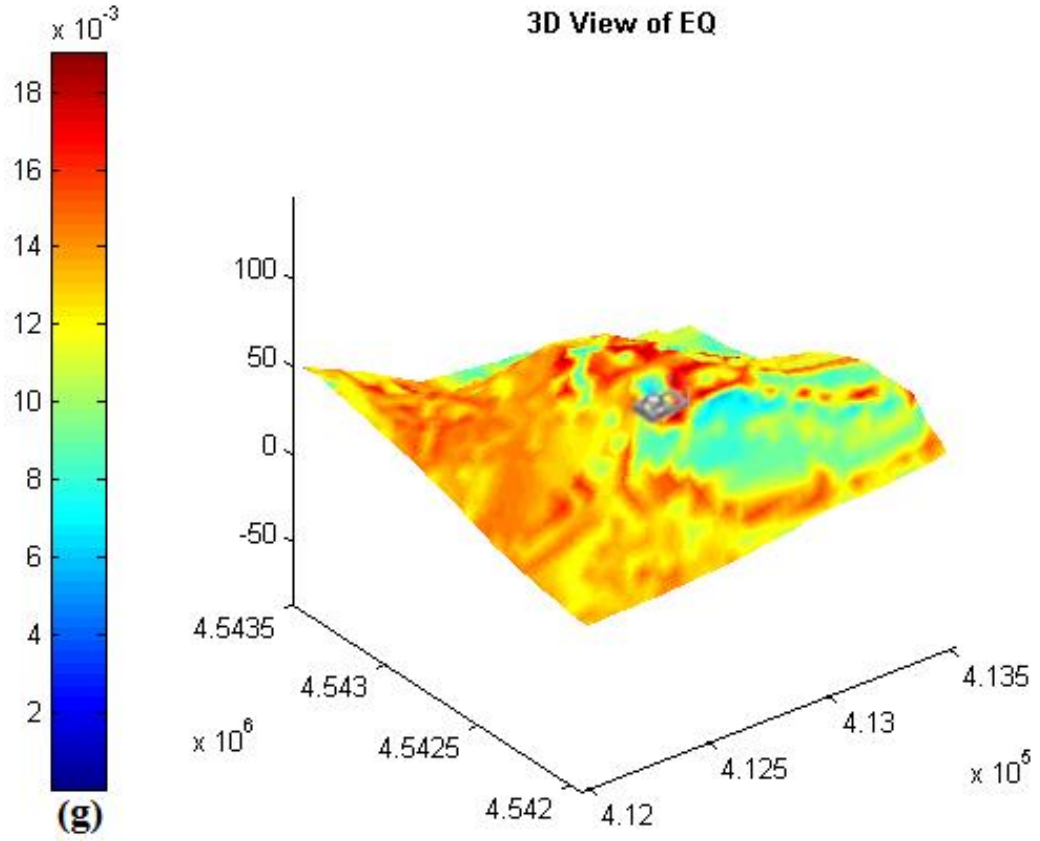
Şekil 4.45.a Depremin Y bileşeni etkisiyle t=10sn anında bölgede oluşan ivme dağılımı (g) ve ana yapının yer değiştirme şekli (Değerler deprem yönünde ve mm cinsindedir)



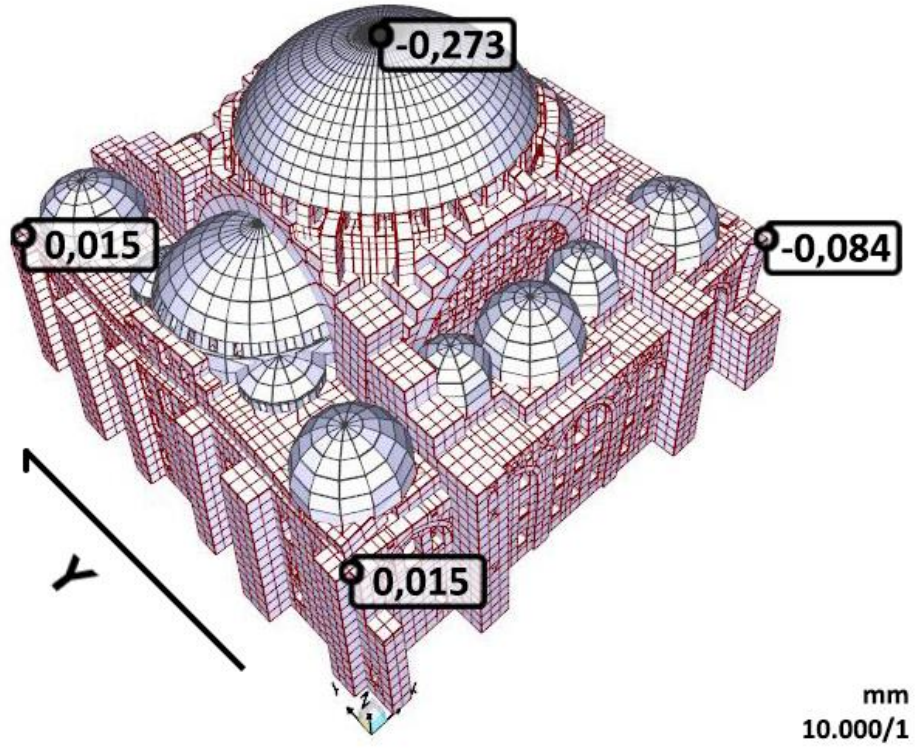
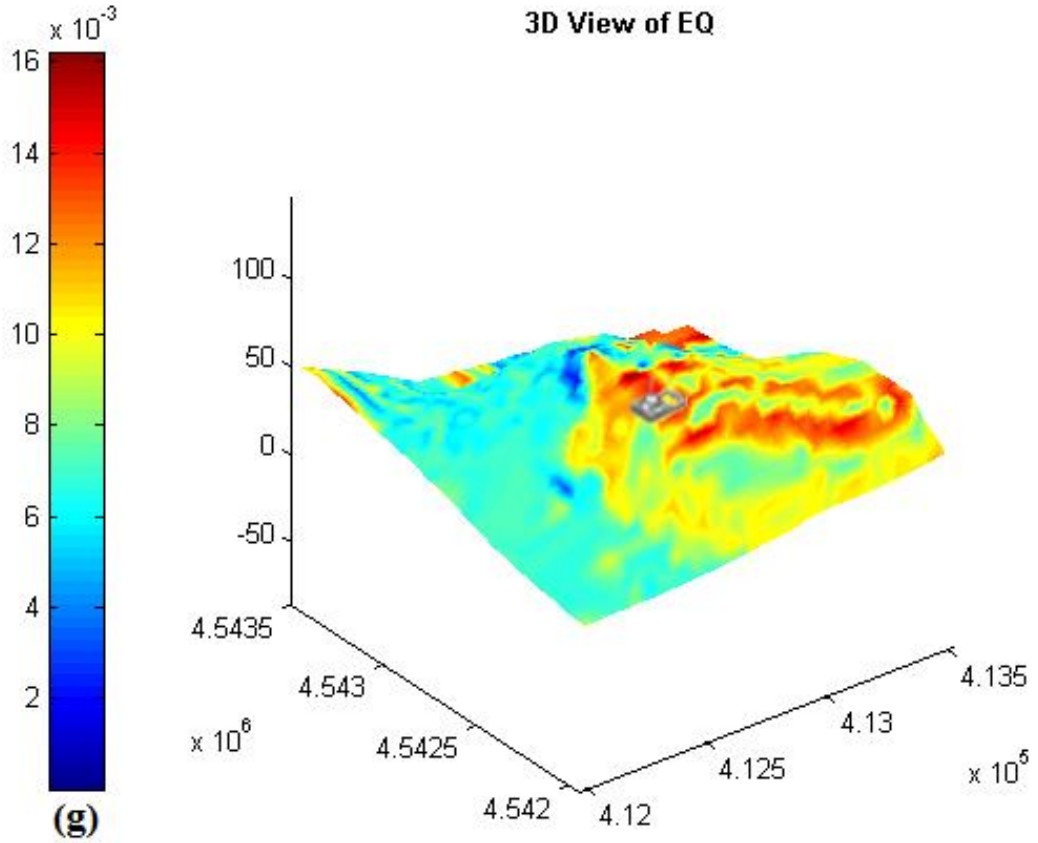
Şekil 4.45.b Depremin Y bileşeni etkisiyle t=20sn anında bölgede oluşan ivme dağılımı (g) ve ana yapının yer değıştirme şekli (Değerler deprem yönünde ve mm cinsindedir)



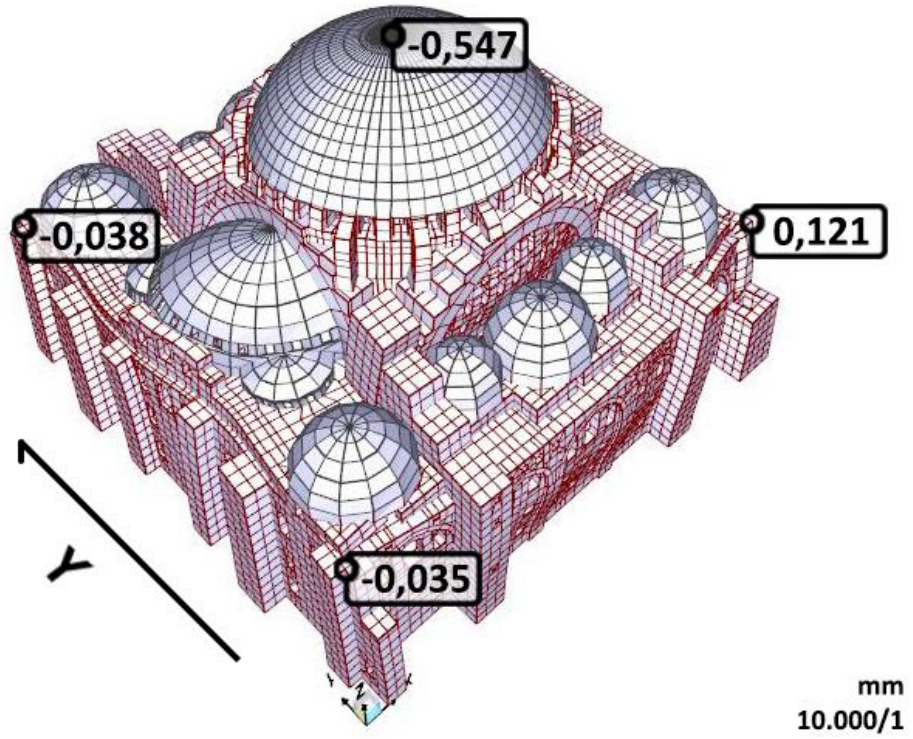
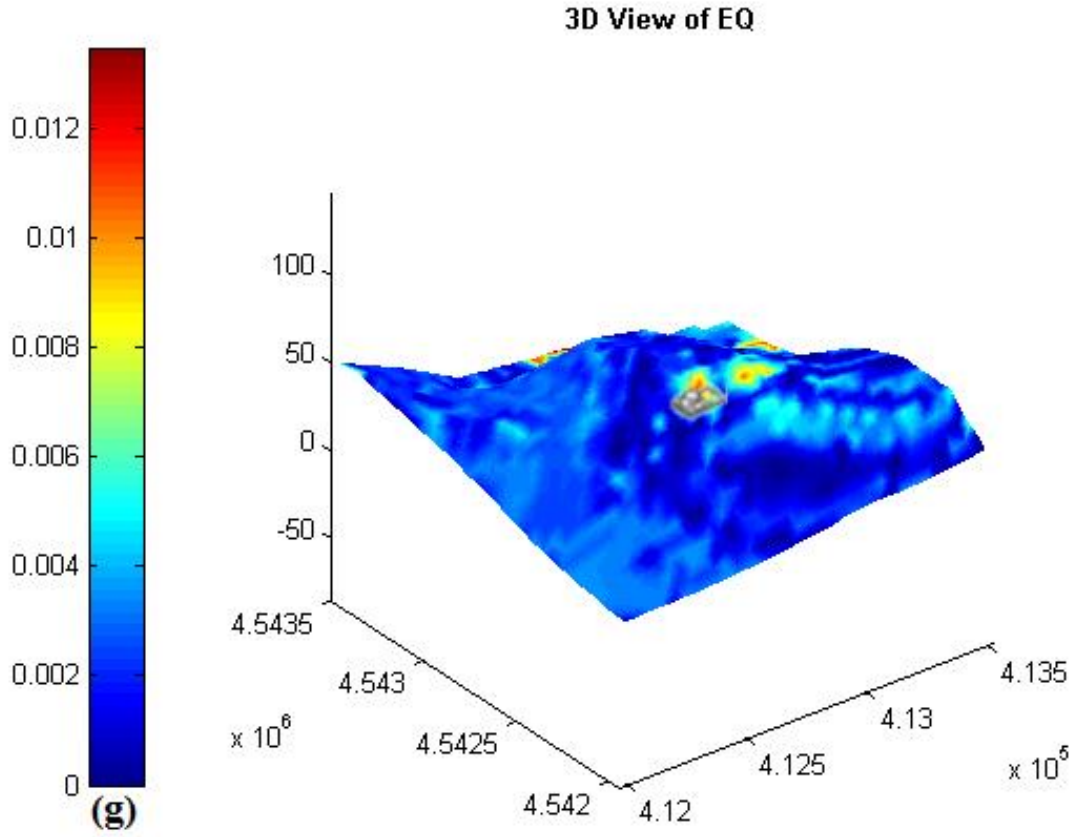
Şekil 4.45.c Depremin Y bileşeni etkisiyle t=30sn anında bölgede oluşan ivme dağılımı (g) ve ana yapının yer değıştirme şekli (Değerler deprem yönünde ve mm cinsindedir)



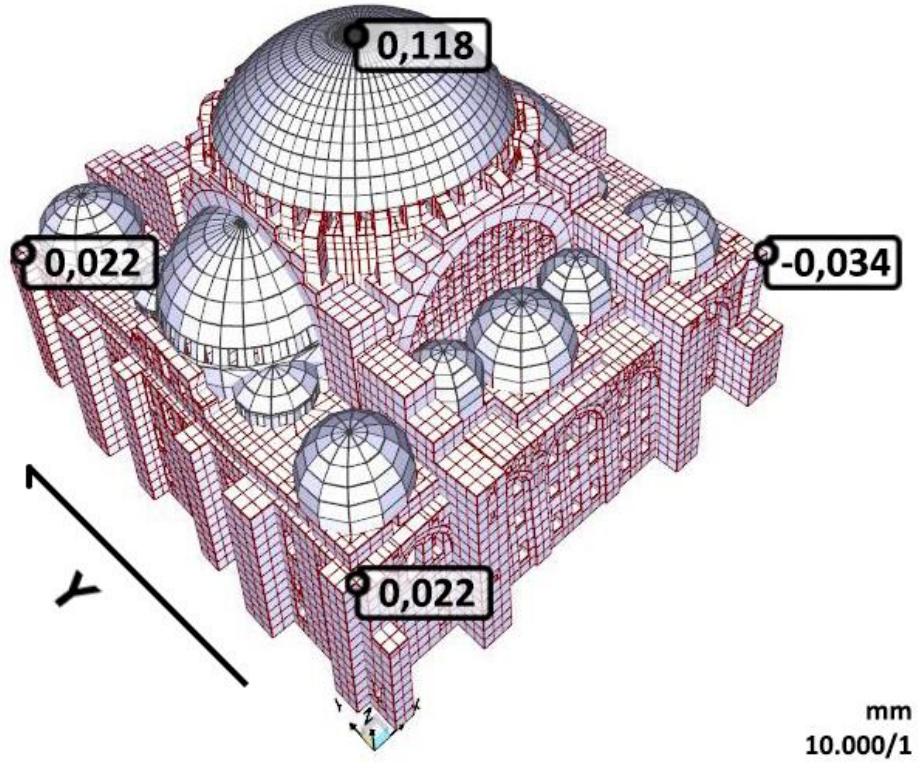
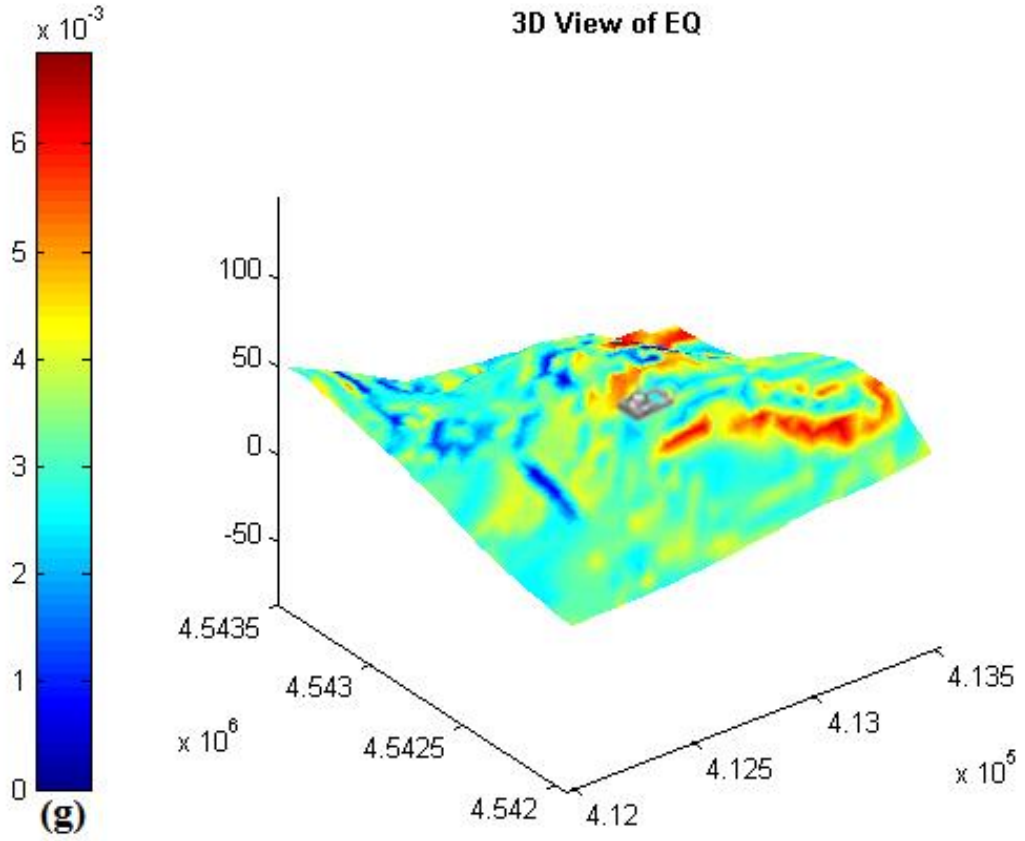
Şekil 4.45.d Depremin Y bileşeni etkisiyle $t=40$ sn anında bölgede oluşan ivme dağılımı (g) ve ana yapının yer değiştirme şekli (Değerler deprem yönünde ve mm cinsindedir)



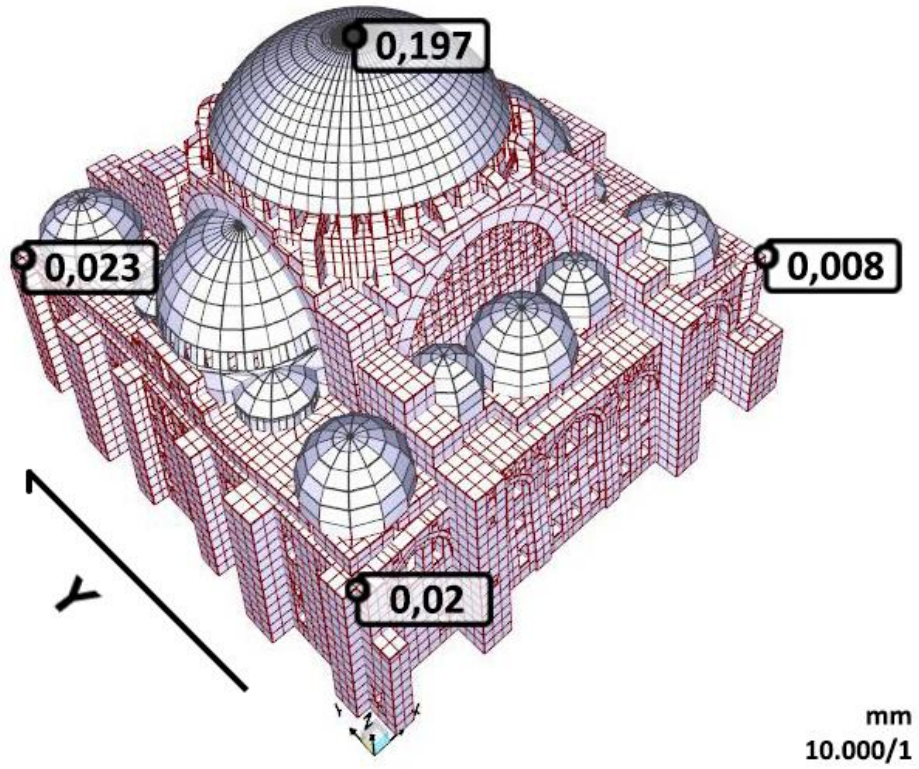
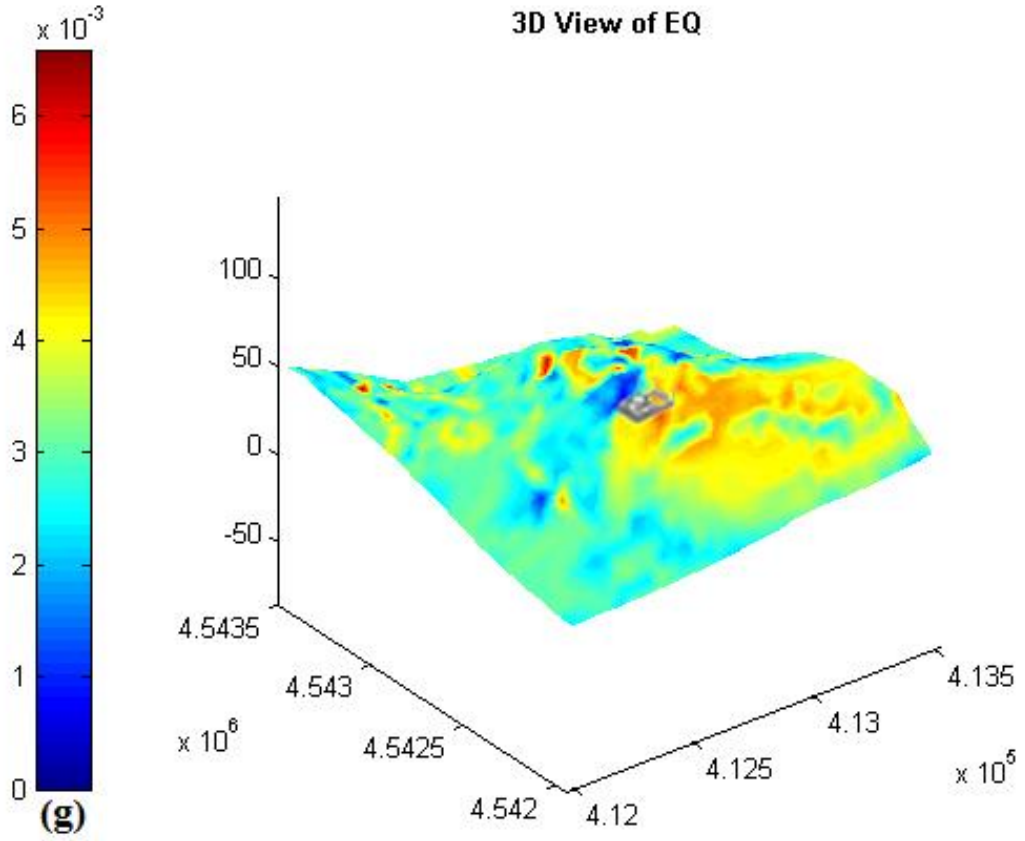
Şekil 4.45.e Depremin Y bileşeni etkisiyle t=50sn anında bölgede oluşan ivme dağılımı (g) ve ana yapının yer değıştirme şekli (Değerler deprem yönünde ve mm cinsindedir)



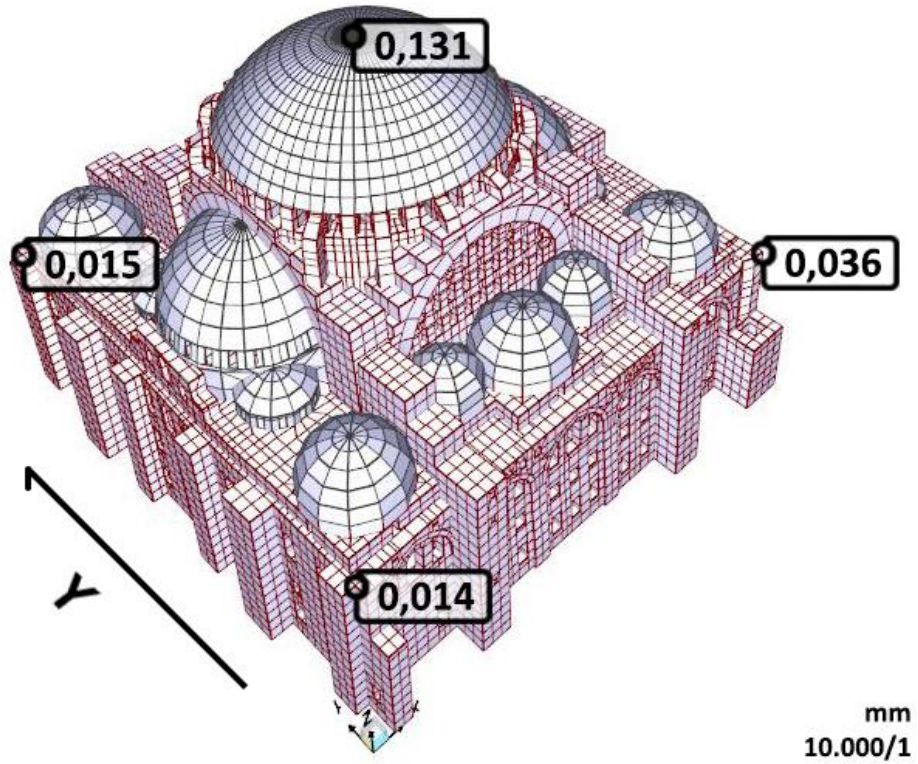
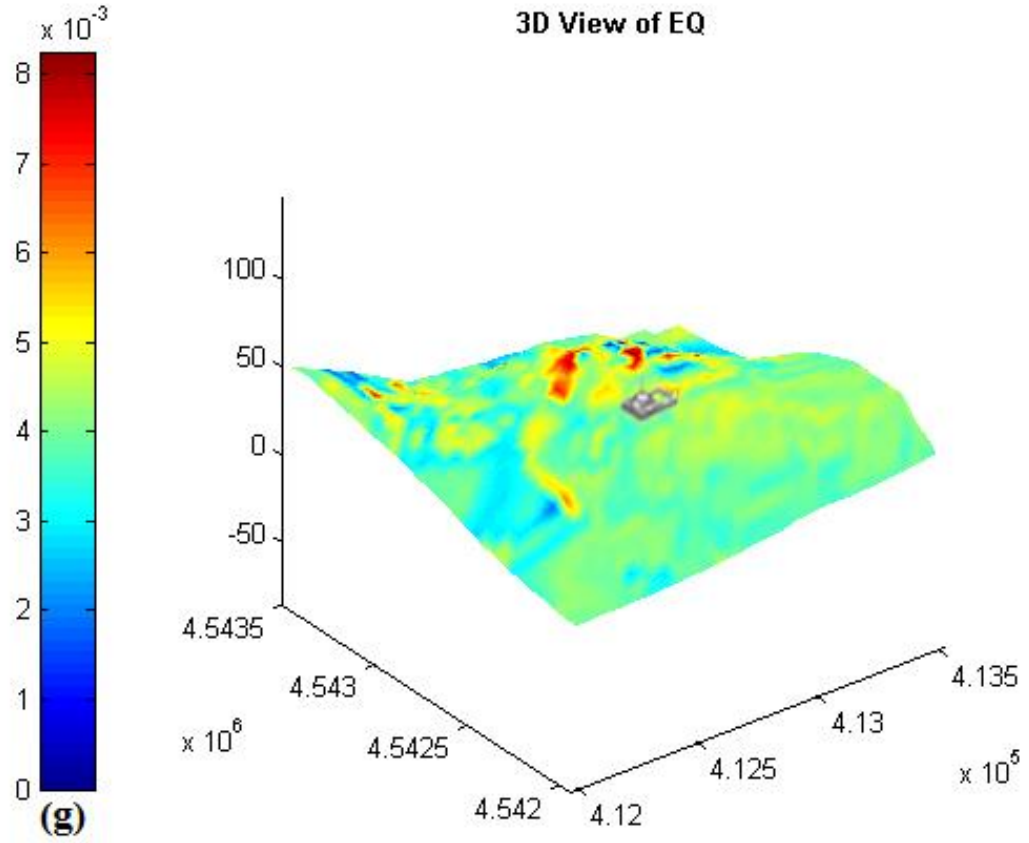
Şekil 4.45.f Depremin Y bileşeni etkisiyle t=60sn anında bölgede oluşan ivme dağılımı (g) ve ana yapının yer değıştirme şekli (Değerler deprem yönünde ve mm cinsindedir)



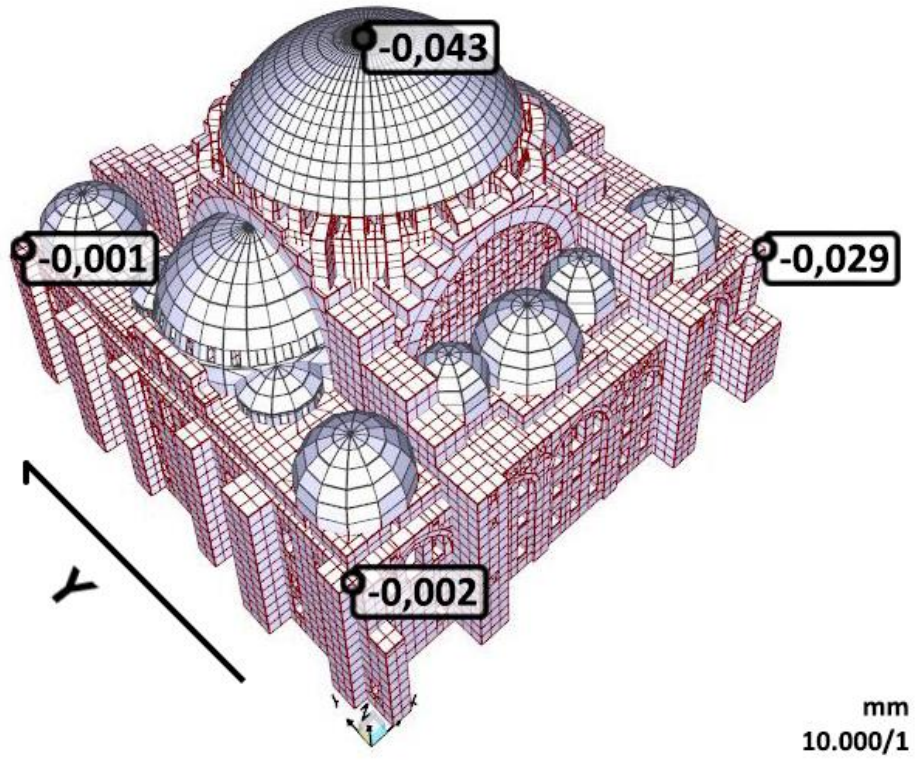
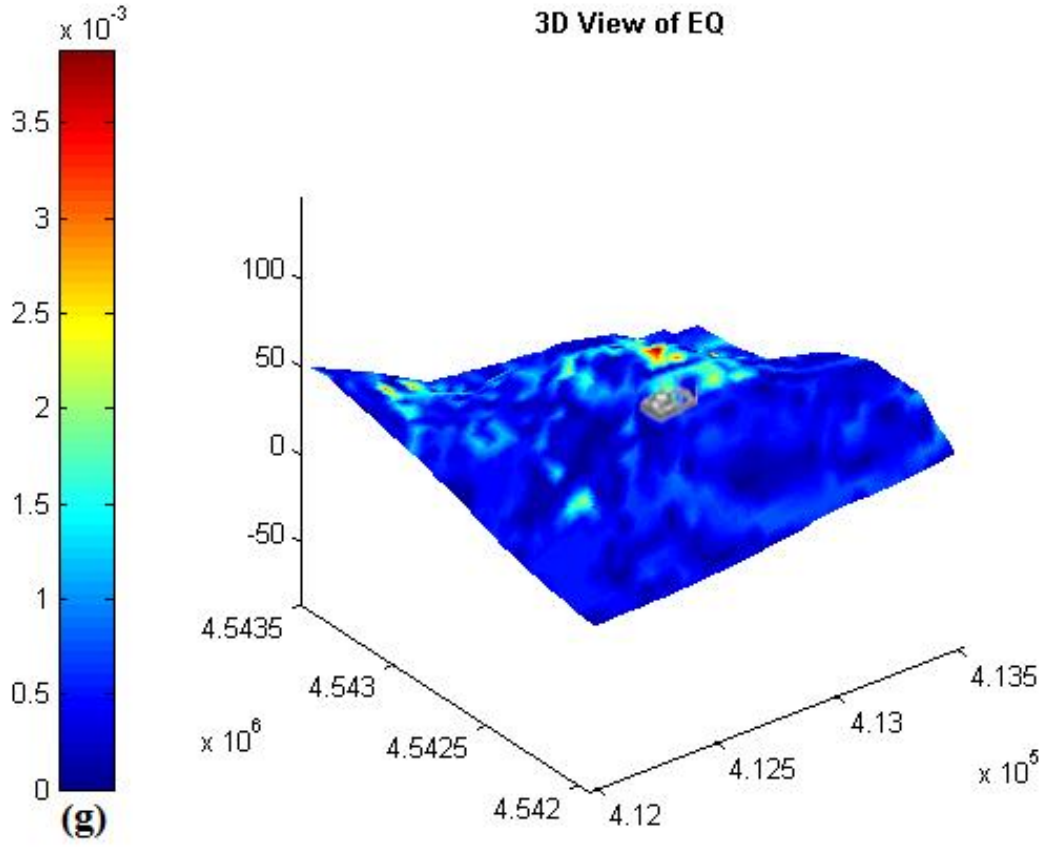
Şekil 4.45.g Depremin Y bileşeni etkisiyle t=70sn anında bölgede oluşan ivme dağılımı (g) ve ana yapının yer değıştirme şekli (Değerler deprem yönünde ve mm cinsindedir)



Şekil 4.45.h Depremin Y bileşeni etkisiyle t=80sn anında bölgede oluşan ivme dağılımı (g) ve ana yapının yer değiştirme şekli (Değerler deprem yönünde ve mm cinsindedir)



Şekil 4.45.i Depremin Y bileşeni etkisiyle t=90sn anında bölgede oluşan ivme dağılımı (g) ve ana yapının yer değıştirme şekli (Değerler deprem yönünde ve mm cinsindedir)



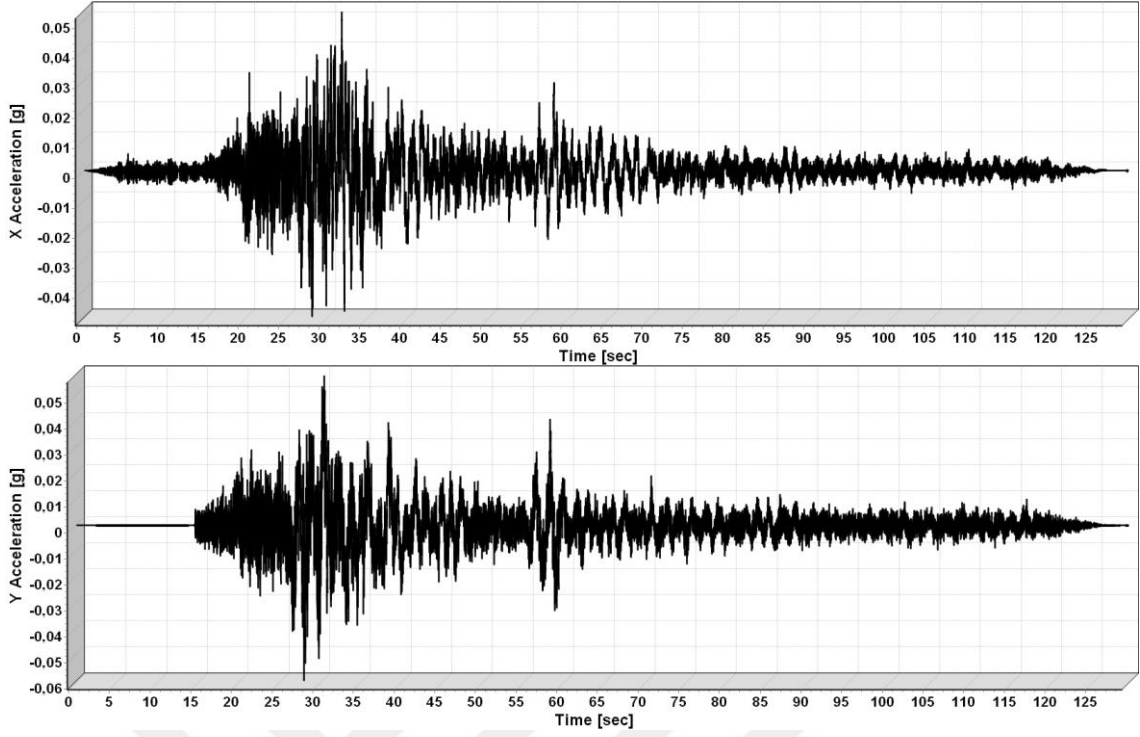
Şekil 4.45.j Depremin Y bileşeni etkisiyle t=100sn anında bölgede oluşan ivme dağılımı (g) ve ana yapının yer değıştirme şekli (Değerler deprem yönünde ve mm cinsindedir)

4.4.2.3 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

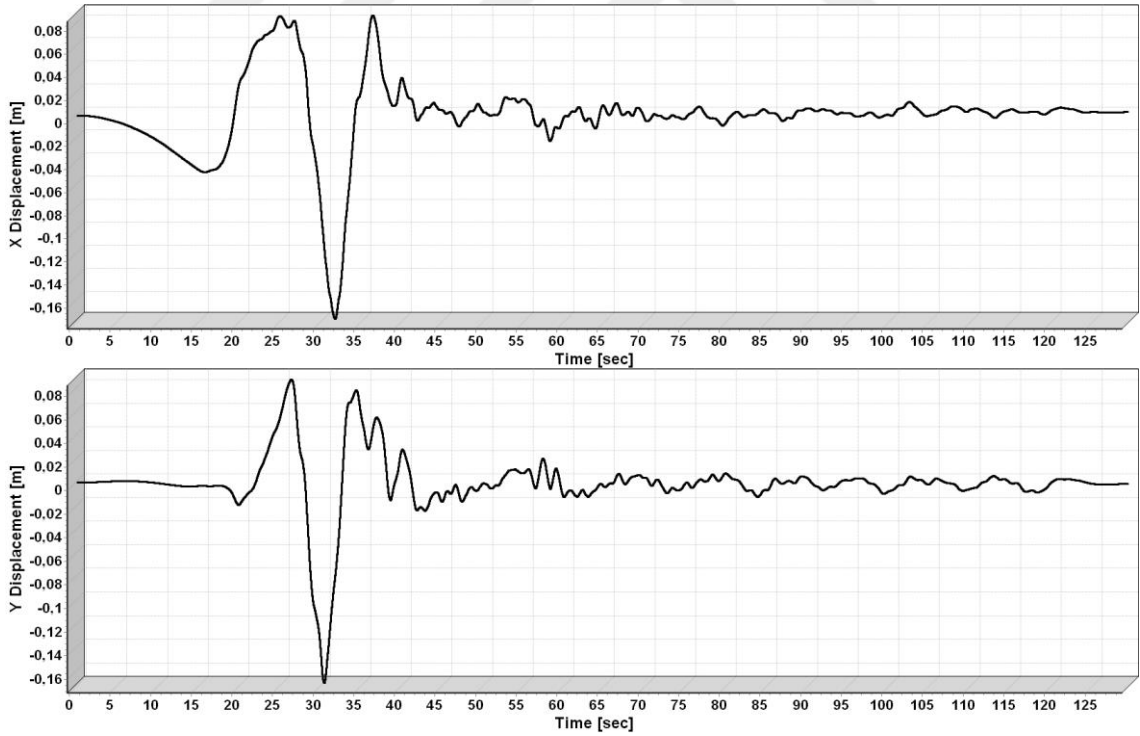
1999 yılında Kocaeli’nde meydana gelen bu deprem 7,51 mag. büyüklüğünde olup strike slip zemin kırılma mekanizması ile oluşmuştur. Şekil 4.46’da yapıya etki ettirilen ivmenin zamana bağlı değişimi, Şekil 4.47’de ise yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimleri verilmiştir. İvme etkisinin yanı sıra yapının kendi ağırlığı da dikkate alınarak zaman tanım alanında analizi yapılmıştır. Deprem kayıtlarının doğu-batı bileşenleri x doğrultusunda, kuzey-güney bileşenleri de y doğrultusunda yapıya etki ettirilmiştir. Yapının kritik bazı noktalarında oluşan yer değiştirmeler Çizelge 4.10’da verilmiştir. Bunun yanında yapıda oluşan maksimum gerilmeler Çizelge 4.11-4.14’de verilmiştir.

Çizelge 4.10 Kocaeli depremi etkisi ile yapının tepe noktalarında tespit edilen en büyük yer değiştirme miktarları

Tepe Noktası	Büyük Kubbe	(1) Güney Minaresi	(2) Doğu Minaresi	(3) Kuzey Minaresi	(4) Batı Minaresi	
Kocaeli Depremi (mm)	Maks (x)	2,87	90,61	91,56	63,98	63,92
	Min (x)	-3,41	-101	-102,5	-65,02	65,01
	Maks (y)	2,28	98,49	94,99	91,66	93,03
	Min (y)	-2,78	-105,3	-104,2	-110,8	-111,8



Şekil 4.46 Kocaeli depremi(1999) ivme-zaman grafiği [70]



Şekil 4.47 Kocaeli depremi(1999) yer değıştirme-zaman grafiği [70]

Çizelge 4.11 Kocaeli depremi etkisi ile yapıda oluşan pozitif yöndeki en büyük gerilmeler (MPa)

	Katı Elemanlar (Solid)					
	S11 (Çekme)	S22 (Çekme)	S33 (Çekme)	S12 (Kayma)	S13 (Kayma)	S23 (Kayma)
Kocaeli (X)	1,69	1,57	1,93	0,99	1,35	1,09
Kocaeli (Y)	1,48	1,67	2,34	0,86	1,18	1,16

Çizelge 4.12 Kocaeli depremi etkisi ile yapıda oluşan negatif yöndeki en büyük gerilmeler (MPa)

	Katı Elemanlar (Solid)					
	S11 (Basınç)	S22 (Basınç)	S33 (Basınç)	S12 (Kayma)	S13 (Kayma)	S23 (Kayma)
Kocaeli (X)	2,11	2,47	4,29	0,9	1,47	1,13
Kocaeli (Y)	1,64	1,89	3,91	1,07	1,21	1,32

Yapıda deprem analizleri sonucu meydana gelen en büyük çekme gerilmeleri Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.13’de, en büyük basınç gerilmeleri ise Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.14’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en büyük çekme ve basınç gerilmeleri her iki yönde etki ettirilen deprem için de Z eksen yönünde (S33) çıkmıştır. Bu depremler sonucu oluşan gerilme dağılımları Şekil 4.48-4.51’de gösterilmektedir. Grafik skalası 1 MPa ve -1 MPa arasında ölçeklendirilerek sunulmuştur.

Yapının geneli (sarı-mavi arası bölgeler) Şekil 4.48 ve Şekil 4.49’da görüldüğü gibi 1 MPa altında çekme gerilmesine maruz kalmıştır. En büyük gerilmeler minare duvarlarında oluşmuştur. Minareler arasında en büyük gerilmeler ise kısa olan minarelerde oluşmuştur. Çizelge 4.11’de verilen S33 yönündeki maksimum gerilme değerleri her iki depremde de kısa minarelere ait olan değerlerdir. Y eksen yönünde etki ettirilen depremde oluşan çekme gerilmeleri X eksen yönünde etki ettirilen depremden daha fazla çıkmıştır. Pencere boşluklarının etrafı şekillerde görüldüğü gibi 0,5 MPa’ın altında kalmıştır. Şekil 4.52’de görüldüğü gibi fil ayaklarının alt kısımlarında çekme bölgeleri

oluşmaz iken yapının çevre duvarlarının altında ise önemsiz miktarda çekme gerilmeleri oluşmuştur.

Çizelge 4.13 Kocaeli depremi etkisi ile kubbelerde oluşan pozitif yöndeki en büyük gerilmeler (MPa)

	Kabuk Elemanlar (Shell)		
	S11 (Çekme)	S22 (Çekme)	S12 (Kayma)
Kocaeli (X)	1,28	1,7	1,26
Kocaeli (Y)	1,44	1,57	1,14

Çizelge 4.14 Kocaeli depremi etkisi ile kubbelerde oluşan negatif yöndeki en büyük gerilmeler (MPa)

	Kabuk Elemanlar (Shell)		
	S11 (Basınç)	S22 (Basınç)	S12 (Kayma)
Kocaeli (X)	1,37	1,71	1,27
Kocaeli (Y)	1,54	1,9	1,15

Yapılan malzeme (Çizelge 4.1) ve modelleme kabullerine göre modelin tamamının toplam ağırlığı 800668,59 kiloNewton'dur (kN). KN'u ton a çevirmek için bu değeri yerçekimi ivmesine yani 9,80665'e bölmek gerekir. İşlem sonucunda modelin toplam ağırlığı 81645,47 ton çıkmaktadır. Yapının tek tek bölümleri incelendiğinde ise;

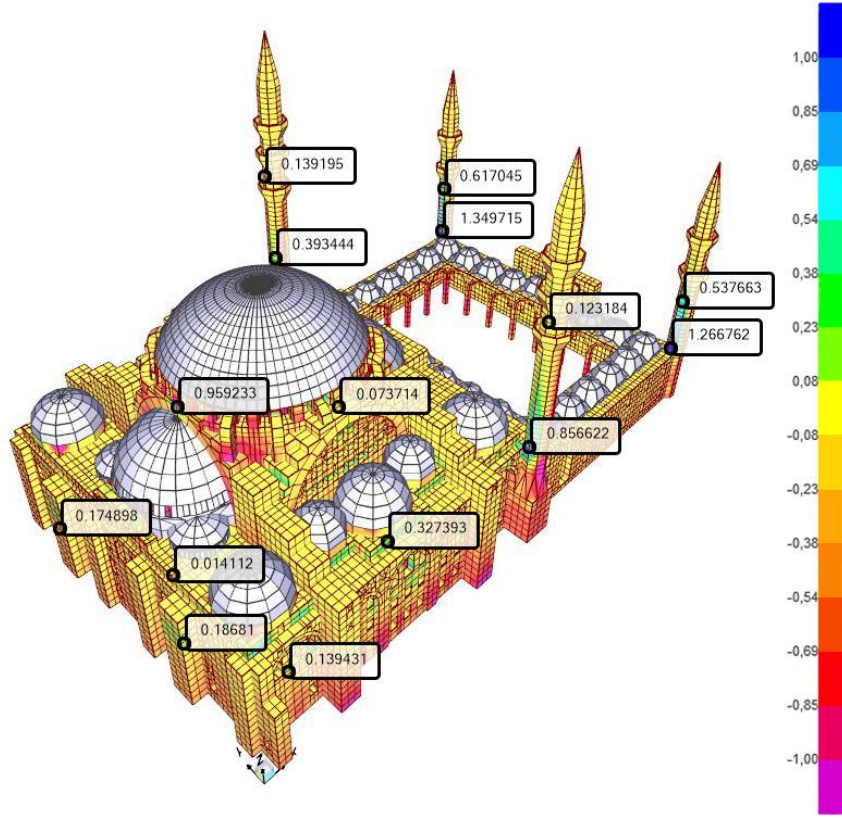
- Kuzeydoğu duvarı: 7269,85 ton (71292,86 kN)
- Güneybatı duvarı: 7162,88 ton (70243,87 kN)
- Kuzeybatı duvarı: 8538,2 ton (83731,12 kN)
- Güneydoğu duvarı: 8180,53 ton (80223,64 kN)
- Duvarların üstünde kalan kısım (kubbeler hariç): 14460,24 ton (141806,53 kN)
- Ana Kubbe: 1849,26 ton (18135,01 kN)

- Toplam yarım kubbeler: 1540,27 ton (15104,91 kN)
- Toplam ana yapıdaki diğer kubbeler: 2208,13 ton (21654,34 kN)
- Toplam modelin iç kısmı: 13701,48 ton (134365,65 kN)
- Toplam minarelerin ağırlığı: 4284,86 ton (42020,08 kN)
- Toplam avlu duvarları: 10700,67 ton (104937,76 kN)
- Toplam avlu kubbeleri: 1749,1 ton (17152,82 kN) olarak hesaplanmıştır.

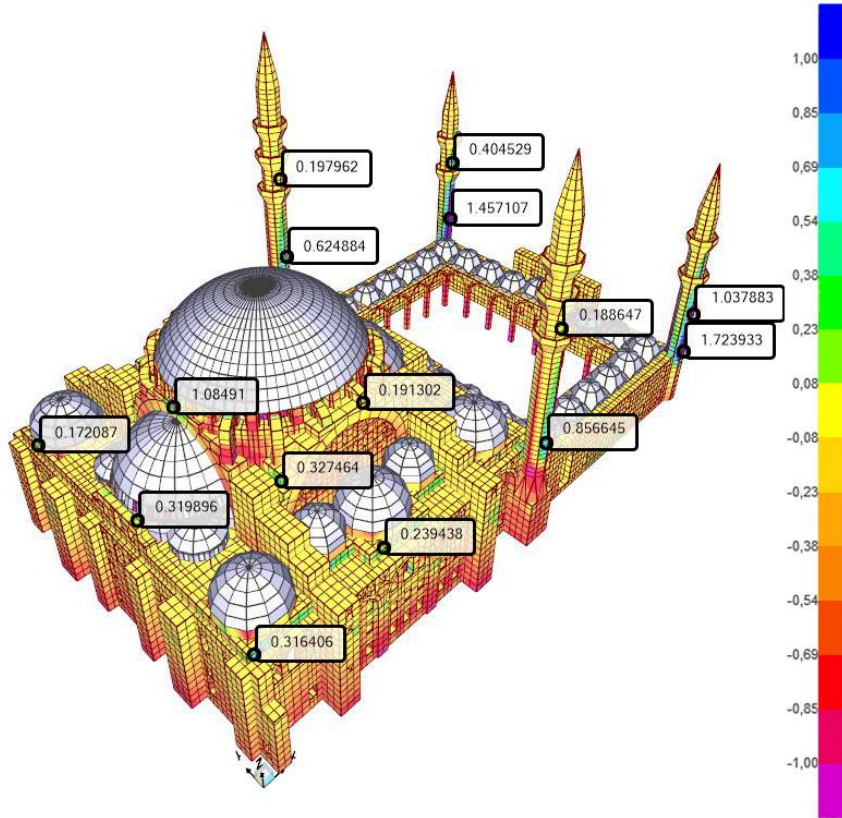
Yapının ağır olması nedeni ile en büyük basınç Düzce, Kobe ve Northridge depremlerindeki gibi Kocaeli depreminde de düşey ekseninde (S33) oluşmuştur. Yine basınç gerilmelerinin önemli bir kısmı yapının kendi ağırlığı nedeni ile oluşmuştur. Yapının tamamında basınç gerilmeleri çekme gerilmelerinden fazla çıkmıştır.

Kubbelerde en fazla çekme gerilmesi Şekil 4.53 ve Şekil 4.55'de görüldüğü gibi yapı ile veya başka bir kubbe ile bağlandığı yerlerde oluşmuştur. Şekil 4.55'te Kocaeli depreminin (Y) bileşeni etkisi altındaki kubbelerin çekme gerilmelerinin üstten görünümü verilmiştir. Kubbelerde en fazla gerilme yeşil-mavi arası bölgelerde oluşmuştur. Yapıya kıyasla kubbelerde oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin çok daha düşük seviyelerde kaldığı söylenebilir.

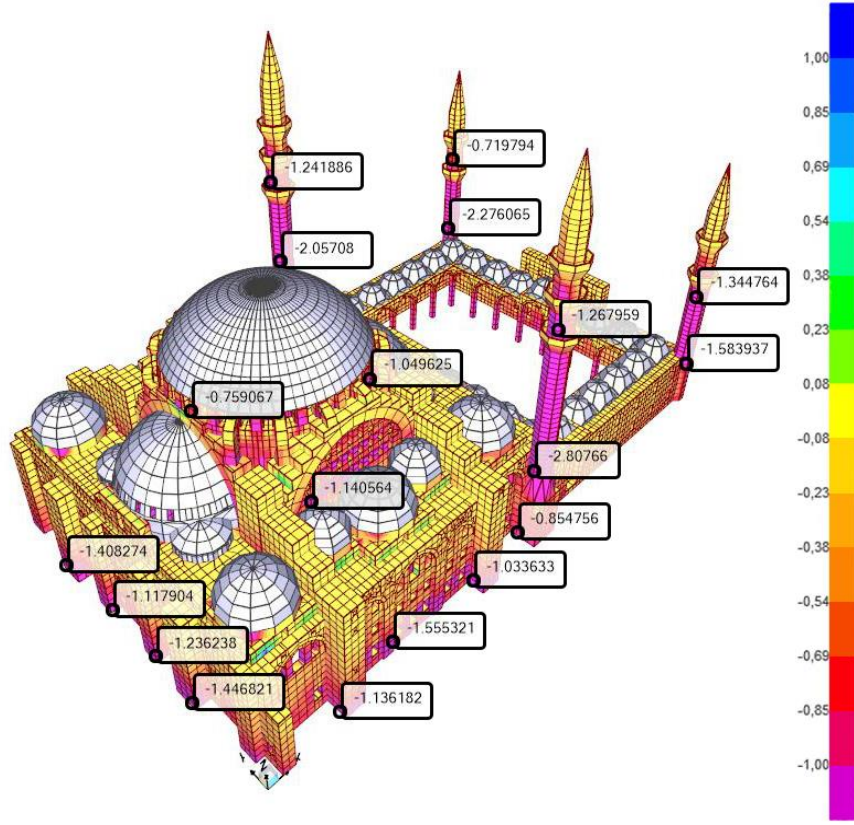
Kayma emniyet gerilmesi için $\tau_{em} = \tau_o + \mu\sigma$ denkleminde düşey gerilmeler sınır değeri 0,8 MPa olarak ve çatlama emniyet gerilmesi 0,15 MPa olarak alınırsa $\tau_{em} = 0,15 + 0,5 \cdot 0,8 = 0,55$ MPa olarak hesaplanır [51]. Bu durumda deprem anında yapıda oluşan maksimum kayma gerilmesi değerleri, kayma emniyet gerilmesi (τ_{em}) değerlerini aşmaktadır. Depremin X bileşeni için S12 yönündeki kayma emniyet gerilmesini aşan eleman sayısı 23500 adet katı eleman içerisinde 35 adet katı eleman, 2658 adet kabuk eleman içerisinde 20 adet kabuk elemandır. S13 yönünde 326 katı eleman, S23 yönünde 163 katı elemandır. Depremin Y bileşeni için S12 yönünde 32 adet katı eleman, 18 adet kabuk eleman, S13 yönünde 159 adet katı eleman, S23 yönünde 255 adet katı elemandır. Tüm yapıya kıyasla emniyet değerini aşan eleman sayısı oldukça azdır. Kayma gerilmelerinin 0,30 MPa'dan fazla olduğu bölgeler genel olarak katı elemanlarda kubbelerin altında, Kabuk elemanlarda ise ana kubbe ve yarım kubbelerin alt kısımlarındadır.



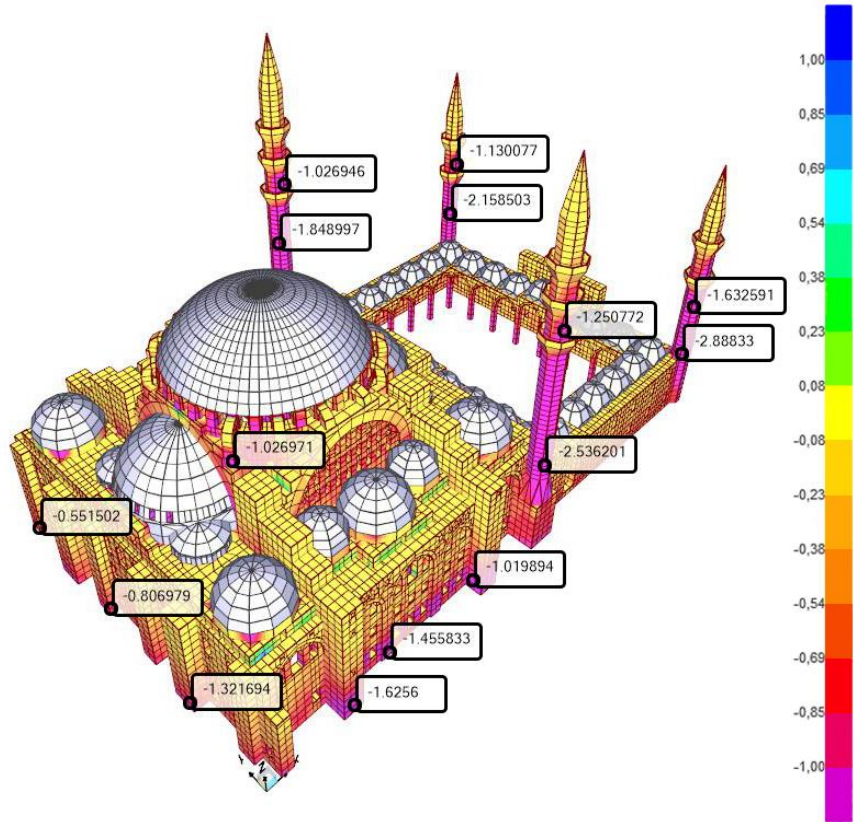
Şekil 4.48 Kocaeli depremi X bileşeninin yapıda oluşturduğu en büyük çekme gerilmeleri (Çizelge 4.11, S33)



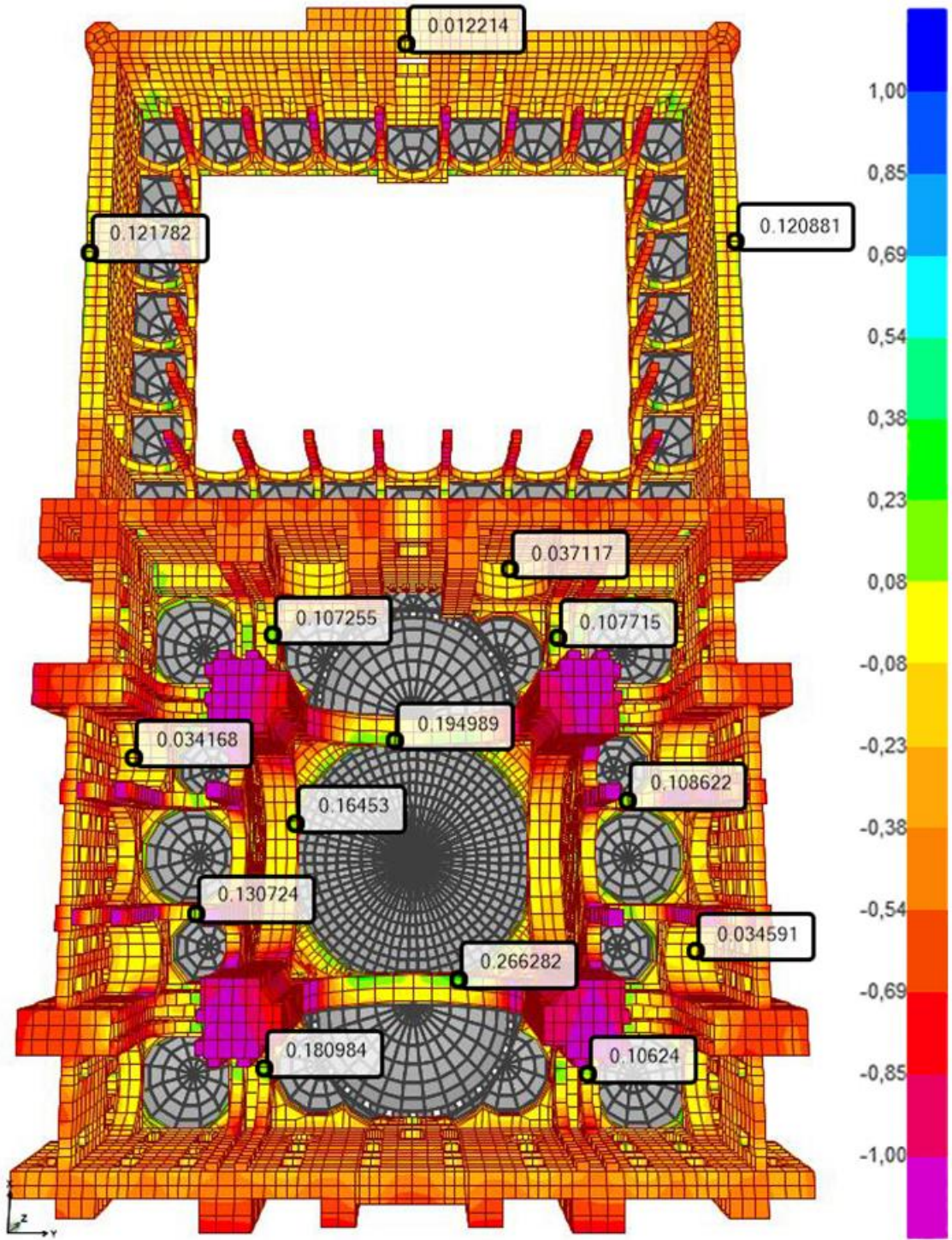
Şekil 4.49 Kocaeli depremi Y bileşeninin yapıda oluşturduğu en büyük çekme gerilmeleri (Çizelge 4.11, S33)



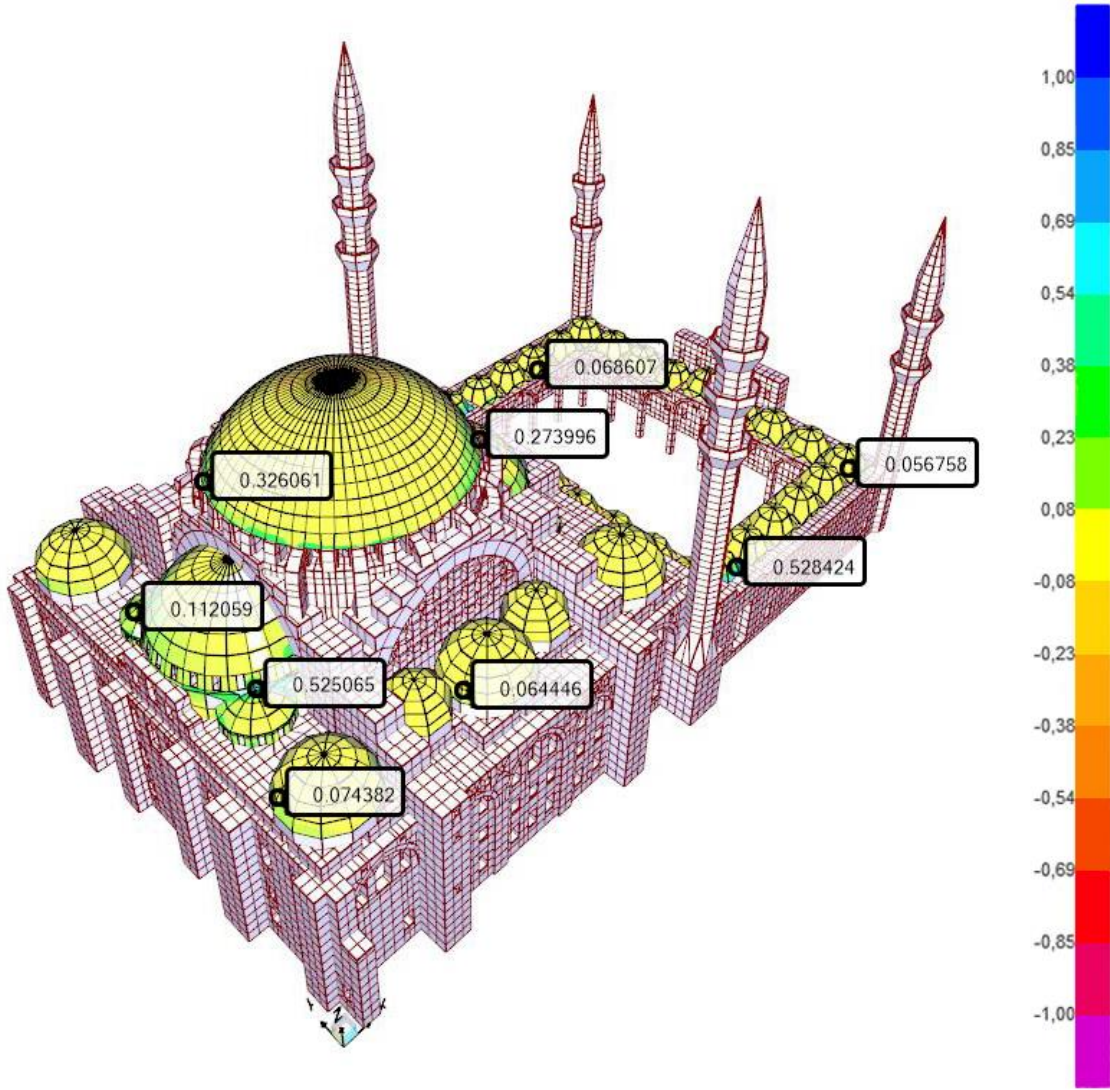
Şekil 4.50 Kocaeli depremi X bileşeninin yapıda oluşturduğu en büyük basınç gerilmeleri (Çizelge 4.12, S33)



Şekil 4.51 Kocaeli depreminin Y bileşeninin yapıda oluşturduğu en büyük basınç gerilmeleri (Çizelge 4.12, S33)



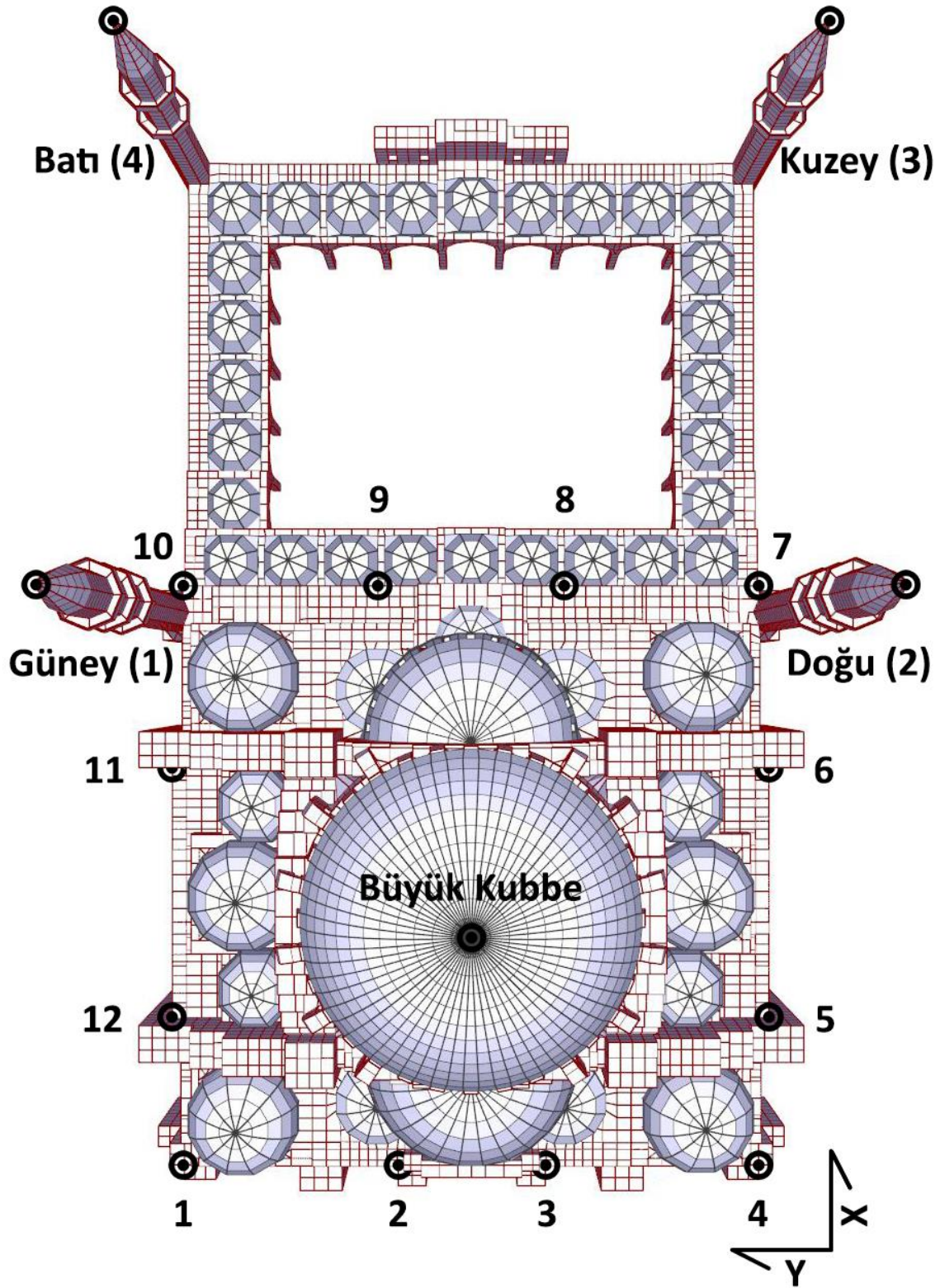
Şekil 4.52 Kocaeli depremi Y bileşeninin etkisi altında yapıda oluşan düşey yöndeki çekme gerilmeleri (Çizelge 4.11, S33)



Şekil 4.53 Kocaeli depremi Y bileşeninin kubbelerde oluşturduğu en büyük çekme gerilmeleri (Çizelge 4.13, S11)

Çizelge 4.10'daki yapının yer değiştirme miktarlarına bakıldığında büyük kubbenin çok düşük miktarlarda yer değiştirme yaptığı görülmektedir. Ana taşıyıcı sistem rijit davranarak düşük miktarda yer değiştirme göstermiştir. Yapının en fazla yer değiştirme gösteren yerleri x yönünde etki ettirilen deprem için 2 nolu doğu minaresinin tepe noktası, y yönünde etki ettirilen depremin pozitif yönünde 1 nolu güney minaresi negatif yönünde ise 4 nolu batı minaresidir. Ayrıca batı minaresi 111,8 mm ile her iki yöndeki Kocaeli depremi etkisi altındaki en büyük yer değiştirmeyi de göstermiştir. Y yönünde etki ettirilen depremde bütün minarelerin tepe noktaları birbirlerine yakın miktarlarda yer değiştirme göstermiştir. Şekil 4.54'de yer değiştirme miktarları sayısal olarak belirlenen noktaların yapı üzerindeki yerleri gösterilmiştir. Çizelge 4.15'de ise her 10

saniyede bir bu noktaların yer değiştirme miktarları sayısal olarak gösterilmiştir. Yer değiştirme miktarları mm cinsinden olup deprem bileşeni yonundedir.



şekil 4.54 Yer değiştirme miktarları belirlenen noktaların yapı üzerinde gösterimi

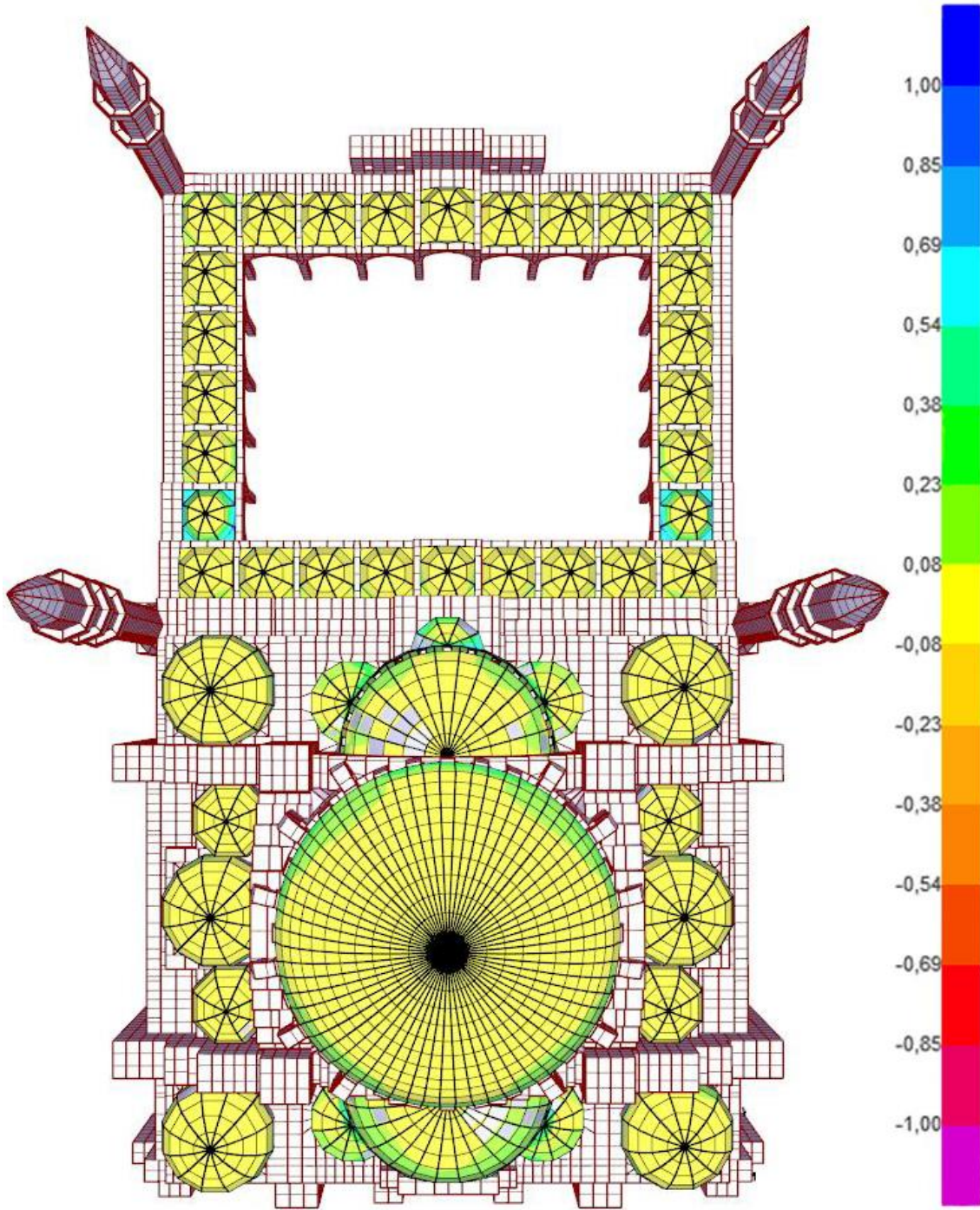
Çizelge 4.15 Belirli zamanlarda yapıda oluşan yer değiştirme miktarları (sn-mm)

Zaman	Deprem Bileşeni	Tepe Kubbe	Tepe Güney (1)	Tepe Doğu (2)	Tepe Kuzey (3)	Tepe Batı (4)
10	X	0,001	0,163	0,169	0,091	0,091
	Y	0	0,028	0,025	0,013	0,013
20	X	0,348	10,243	10,146	11,627	11,663
	Y	-0,08	-7,872	-7,822	-8,414	-8,438
30	X	-0,446	41,575	39,838	32,75	33,546
	Y	-0,66	-33,542	-31,143	53,017	54,462
40	X	0,578	-1,795	-15,065	31,395	31,532
	Y	0,894	83,465	83,405	-17,623	-16,563
50	X	-0,179	-19,097	-15,333	4,815	5,182
	Y	-0,273	-32,09	-40,584	24,547	25,35
60	X	-0,459	21,209	30,799	-21,741	-21,942
	Y	-0,547	54,922	63,425	-44,248	-45,046
70	X	-0,199	34,581	26,111	-34,924	-35,596
	Y	0,118	-12,845	-20,893	3,839	3,696
80	X	-0,118	-32,181	-36,719	-3,081	-3,274
	Y	0,197	-12,419	-7,417	14,709	14,903
90	X	-0,055	-12,03	-5,524	-1,372	-1,679
	Y	0,131	9,448	8,84	-5,855	-6,273
100	X	-0,047	12,407	13,873	2,578	2,507
	Y	-0,043	-9,379	-10,962	8,893	8,843

Çizelge 4.15 Belirli zamanlarda yapıda oluşan yer değiştirme miktarları
(sn-mm) (devamı)

Zaman	Deprem Bileşeni	1	2	3	4	5	6
10	X	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	Y	0	0	0	0	0	0
20	X	0,186	0,226	0,224	0,172	0,161	0,159
	Y	-0,018	-0,015	-0,015	-0,016	-0,012	-0,02
30	X	-0,348	-0,436	-0,426	-0,302	-0,296	-0,292
	Y	-0,116	-0,144	-0,139	-0,107	-0,497	-0,302
40	X	0,395	0,497	0,483	0,369	0,358	0,351
	Y	0,092	0,119	0,116	0,086	0,438	0,404
50	X	-0,156	-0,198	-0,194	-0,146	-0,154	-0,156
	Y	0,015	0,008	0,006	0,015	-0,047	-0,07
60	X	-0,093	-0,224	-0,212	-0,086	-0,125	-0,101
	Y	-0,038	-0,057	-0,056	-0,035	-0,243	-0,225
70	X	-0,115	-0,143	-0,142	-0,11	-0,102	-0,096
	Y	0,022	0,028	0,027	0,022	0,094	0,07
80	X	-0,035	-0,068	-0,066	-0,032	-0,049	-0,048
	Y	0,023	0,028	0,028	0,02	0,097	0,087
90	X	-0,011	-0,028	-0,025	-0,006	-0,015	-0,014
	Y	0,015	0,02	0,019	0,014	0,068	0,059
100	X	-0,028	-0,035	-0,034	-0,026	-0,022	-0,019
	Y	-0,001	-0,003	-0,003	-0,002	-0,016	-0,015

Zaman	Deprem Bileşeni	7	8	9	10	11	12
10	X	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	Y	0	0	0	0	0	0
20	X	0,158	0,209	0,21	0,143	0,15	0,159
	Y	-0,045	-0,029	-0,027	-0,044	-0,02	-0,012
30	X	-0,032	-0,366	-0,373	-0,04	-0,289	-0,303
	Y	-0,127	-0,078	-0,086	-0,124	-0,307	-0,494
40	X	0,169	0,458	0,462	0,203	0,347	0,363
	Y	0,303	0,123	0,134	0,285	0,408	0,432
50	X	-0,158	-0,19	-0,188	-0,151	-0,156	-0,156
	Y	-0,084	-0,006	-0,006	-0,053	-0,068	-0,041
60	X	0,058	-0,158	-0,171	0,026	-0,068	-0,105
	Y	0,121	0,002	-0,017	0,082	-0,223	-0,233
70	X	0,022	-0,13	-0,128	0,046	-0,081	-0,096
	Y	-0,034	0,006	0,013	-0,014	0,068	0,093
80	X	-0,129	-0,056	-0,057	-0,102	-0,042	-0,042
	Y	0,008	0,018	0,021	-0,002	0,084	0,098
90	X	-0,024	-0,014	-0,017	-0,042	-0,018	-0,017
	Y	0,036	0,015	0,017	0,033	0,057	0,069
100	X	0,035	-0,03	-0,03	0,025	-0,016	-0,022
	Y	-0,029	-0,005	-0,004	-0,022	-0,015	-0,017



Şekil 4.55 Kocaeli depremi Y bileşeninin kubbelerde oluşturduğu en büyük çekme gerilmelerinin üstten görünümü (Çizelge 4.13, S11)

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında Süleymaniye Camii, Sap2000 uygulamasında sonlu elemanlar yöntemi ile makro modelleme tekniğine göre 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Kubbeler kabuk eleman olarak modellenirken yapının geri kalanı katı eleman olarak modellenmiştir. Uzun uğraşlar neticesinde yapının gerçek serbest titreşim frekansına oldukça yakın frekansa sahip bir şekilde yapının gerçekçi bir modeli oluşturulmuştur. Bu çalışmadaki elde edilen frekanslar ile geçmiş çalışmalarda elde edilen frekansların karşılaştırılması yapılmış ve geçmiş çalışmalar ile uyumlu olduğu görülmüştür. Modelleme aşamasından edinilen tecrübeye dayalı olarak karmaşık yapıların modellemesi hakkında bilgiler verilmiş, modelleme tekniklerinden bahsedilmiş ve yapının nasıl modellendiği anlatılmıştır. Yapının tarihi, konumu, mimari özellikleri ve yakın geçmişteki kubbe restorasyonu hakkında bilgiler verilmiştir.

Yapının iki farklı şekilde analizi yapılmıştır. İlkinde üç adet farklı karakteristik özelliğe sahip tarihi büyük deprem yapıya etti ettirilmiştir. İkincisinde ise yapının Kocaeli depreminin zemin etkisi dikkate alınarak analizi yapılmıştır. Bölgede 2,25 km²'lik bir alan seçilerek bu alan içerisindeki zemin etüt verileri analiz edilmiş ve 3 boyutlu zemin modeli oluşturulmuştur. Üretilen zemin modeli incelendiğinde yapının yaklaşık olarak ana kaya üzerinde olduğu ortaya çıkmıştır. Bu nedenle bütün deprem analizlerinde yapının zemine temas eden bütün noktaları tamamen rijit (Ux, Uy, Uz, Rx, Ry, Rz) seçilmiştir. Uygulama amacı ile 1999 Kocaeli depremi sırasında Zeytinburnu istasyonunda alınan ivme kayıtları Ters Fourier dönüşümü ile ana kayaya indirgenmiş, buradan da zemin modeli üzerinde büyütme analizleri yapılarak yüzeye taşınmıştır. Elde edilen kuvvetli yer

hareketleri etkisi altında yapı analiz edilmiştir. Bütün bu deprem analizleri neticesinde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Ana yapı deprem etkileri karşısında rijit davranmıştır. Çok düşük miktarlarda yer değiştirme hareketi yaparken düşük miktarlarda da çekme gerilmesi oluşmuştur. Ana yapı üzerinde en fazla çekme gerilmesinin olduğu yerler pencere boşlukları gibi boşlukların çevresinde olmuştur. Pencerelemin çoğu yapının X eksenini doğrultusunda yer almaktadır. Aynı şekilde X eksenini doğrultusunda gelen depremlerde pencere çevresindeki çekme gerilmeleri, Y eksenini doğrultusunda gelen depreme göre daha fazla çıkmıştır.
- Kubbeler yapının geri kalanına oranla çok daha az gerilmelere maruz kalmıştır. En fazla gerilmeler kubbelerin yapı ile birleştiği bölgelerde ve kubbelerin birbiri ile birleştiği bölgelerde oluşmuştur. Ana kubbe en fazla yer değiştirme miktarını 13,83 mm ile Kobe Depreminde (x) gerçekleştirirken, Northridge (x) 9,64 mm, Kocaeli (x) 3,41 mm ve Düzce (x) 1,97 mm şeklinde depremlerin maksimum yer değiştirmeleri sıralanabilir.
- Minareler ise yapının tamamına bakıldığında en fazla çekme gerilmelerin olduğu yerlerdir. Bu çekme gerilmeleri minarelerin alt kısımlarında meydana gelmektedirler. Minarelerin yapının geri kalanı kadar rijit oldukları söylenemez. Yapıdaki en fazla yer değiştirme gösteren yerler de beklenildiği gibi minare tepeleridir. En büyük yer değiştirme Kobe Depreminde (x) 251,6 mm ile uzun olan minarelerden 1 nolu güney minaresinde oluşmuştur. Kocaeli depreminde (y) kısa olan minarelerden 4 nolu batı minaresinde 111,8 mm, Northridge depreminde (y) uzun olan minarelerden 1 nolu güney minaresinde 106,9 mm, Düzce depreminde (y) uzun olan minarelerden 2 nolu doğu minaresinde 23 mm depremlerin maksimum yer değiştirme miktarları olmuştur.
- Yapı, basınç gerilmeleri bakımından incelendiğinde ise en fazla basınç gerilmesinin S33 (Z eksenini) yönünde olduğu görülmektedir. Deprem etkisi altında olmadan yapının kendi ağırlığı nedeniyle oluşan maksimum basınç gerilmesi 2,35 MPa'dır. Basınç gerilmesi genel olarak yukardan aşağı doğru artsa

da ana kubbenin kasnaklarında da önemli miktarda basınç oluşmaktadır. Hem ana kubbe hem de yapının geneli oldukça ağırdır.

Süleymaniye Camii'nin statik analiz sonuçları incelendiğinde düşey yükler altında herhangi bir risk teşkil edecek duruma rastlanmamış ve yapının düşey yükleri güvenli olarak taşıdığı sonucuna varılmıştır. Dinamik analiz sonucunda ise, genel olarak yapının depremlere karşı çok iyi bir performans sergilediği görülmektedir. Buna rağmen ivme kaydının alındığı istasyondan 19 km uzaklıkta gerçekleşmiş Kobe depremi gibi büyük bir depremin yapının yakınlarında gerçekleşmesi durumunda pencere boşluklarının çevresi özellikle fil ayakları arasındaki ana kemerlerin altındaki pencere boşlukları olmak üzere yapı ciddi çekme gerilmelerine maruz kalabilir. Bu gibi durumda bu bölgelerde çok sayıda çatlak hatta hasar beklenebilir. Bunun dışında minareler yapıdan daha narindirler. Depremlerde oluşacak çatlak ve hasarlar öncelikle ve en fazla minarelerde beklenmektedir. Yapının yakınlarında oluşacak ciddi bir deprem minarelere ciddi zararlar verebilir. Bu nedenle minarelere çekme gerilmelerini karşılayacak takviyeler yapılması önerilmektedir. Bunun dışında yapıda bazı çatlaklar oluşabilir ama yapının yıkılma riski olmadığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Selahiye, A., Aydınoglu, M. N. ve Erdik, M., (1995). "Süleymaniye Camii'nin Dinamik Özelliklerinin Deneysel ve Analitik Yöntemler İle Belirlenmesi", Üçüncü Ulusal deprem Mühendisliği Konferansı, Mart 1995, İstanbul.
- [2] Giordano, A., Mele, E. ve De Luca, A., (2002). "Modelling of Historical Masonry Structures: Comparison of Different Approaches Through A Case Study", Engineering Structures, 24:1057–1069.
- [3] Teomete, E., (2004). Finite Element Modeling of Historical Masonry Structures; Case Study: Urla Kamanlı Mosque, Master of Science Thesis, İzmir Institute of Technology, İzmir.
- [4] Bayraktar, A., (2005). "Tarihi Yığma Yapıların Depreme Karşı Güçlendirilmesi", Orta Doğu Teknik Üniversitesi YDGA2005 - Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, 17 Şubat 2005, Ankara.
- [5] Sallio, N., (2005). Mevcut Yığma Yapıların Deprem Bakımından İncelenmesi ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [6] Vatan, M., (2005). Yığma Yapıların Sonlu Elemanlar Yöntemine Dayalı Analiz Modelinin Oluşturulmasında Fotogrametrik Verilerin Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] Özer, S. S., (2006). Geleneksel Yığma Yapılarda Strüktürel Elemanların Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [8] Aytekin, İ., (2006). Donatısız ve Sarılmış Yığma Yapıların Deprem Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- [9] Özen, G. Ö., (2006). Comparison of Elastic And Inelastic Behavior of Historic Masonry Structures At The Low Load Levels, Master of Science Thesis, The Graduate School of Natural And Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara.
- [10] Bayraktar, A., (2006). Tarihi Yapıların Analitik İncelenmesi ve Sismik Güçlendirme Metotları, Beta Yayınları, İstanbul.
- [11] Mahrebel, H. A., (2006). Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım ve Güçlendirme Teknikleri, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] Şen, B., (2006). Modeling And Anlysis of The Historical Masonry Structures, Master of Science Thesis, Bogaziçi University, İstanbul.
- [13] Sesigür, H., Çelik, O. C. ve Çılı, F., (2007). "Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Bileşenler,Hasar Biçimleri, Onarım ve Güçlendirme" Yapı Dergisi, 303
- [14] Yıldırım, H., (2007). Yığma Yapı Elemanları İçin İzotropik Hasar Model Geliştirilmesi ve Sonlu Eleman Uygulamaları, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] Aköz, A. H., (2008). Deprem Etkisi Altındaki Tarihi Yığma Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] Dabanlı, Ö., (2008). Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] Gedik, Y. H., (2008). Analysis, Repair And Strengthening of Historical Masonry Structures; Case Study: Mehmet Aga Mosque, Master of Science Thesis, İstanbul Technical University Institute of Science And Technology, İstanbul.
- [18] Sato, T., Nakamura, Y. ve Saita, J., (2008). "The Change of The Dynamic Characteristics Using Microtremor," in The 14 th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China.
- [19] Kara, H. G., (2009). Tarihi Yığma Yapıların Taşıyıcı Sistemleri, Güvenliğinin İncelenmesi, Onarımı ve Güçlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [20] Öztaş, V., (2009). Yığma Yapıların Güçlendirilmesi ve Bir Yığma Yapı Örneğinde Güçlendirme Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [21] Ural, A., (2009). Yığma Yapıların Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [22] Ulukaya, B., (2009). Süleymaniye 569 Ada, 9-19 Parsellerde Yer Alan Kargir Yapının Strüktürel İncelenmesi ve Restorasyon Projesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [23] Sayın, E., (2009). Yığma Yapıların Lineer Olmayan Statik ve Dinamik Analizi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [24] Türker, B., (2010). Tarihi Yığma Yapıların Yapısal Davranışının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [25] İspir, M., (2010). A Comprehensive Experimental Research On The Behavior of Historical Brick Masonry Walls of 19th Century Buildings, Ph.D. Thesis, Istanbul Technical University Institute of Science And Technology, Istanbul.
- [26] Ercan, E., (2010). Tarihi Yığma Yapıların Güvenliklerinin Analitik ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [27] Kaya, Ç., (2010). Yığma Duvarların Elastik-Plastik Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [28] Arıcan, Y., (2010). Yığma Yapıların Deprem Etkisi Altındaki Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [29] Şeker, B. Ş., (2011). Mimar Sinan Camilerinin Statik ve Dinamik Yükler Etkisinde Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [30] Akdeniz, Ö., (2011). Tarihi Yapıların Lineer Olmayan Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [31] Çırak, İ. F., (2011). "Yığma Yapılarda Oluşan Hasarlar, Nedenleri ve Öneriler" SDU International Technologic Science, 3 (2): 55-60.
- [32] Atabey, İ. İ., (2011). Yığma Binaların Performans Analizi Sivas Suşehri Aşağısarıca İlköğretim Okulu Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [33] Köseoğlu, G. Ç., (2011). Investigation of A Damaged Historical Mosque With Finite Element Analysis, Master of Science Thesis, The Graduate School of Natural And Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara.

- [34] Karakuş, F., (2012). Geleneksel Yiğma Yapılarda Strüktürel Sorunlar ve Çözüm Yolları, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [35] Gür, N. V., Deniz, Ö. S. ve Ekinci, S., (2012). "Kagir Yiğma Duvarlarda Taşıyıcı Malzeme ve Bileşenler", 6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 12 – 13 Nisan 2012, Bursa.
- [36] Can, H. ve Ünay, A. İ., (2012). "Tarihi Yapıların Deprem Davranışını Belirlemek İçin Sayısal Analiz Yöntemleri" Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 27 (1): 211-217.
- [37] Durutürk, G., (2012). Yalvaç Hamidiye Cami Deprem Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [38] Kuruşcu, A. O., (2012). Yiğma Duvar ve Temelerde Doğrusal Olmayan Modelleme, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [39] Betti, M. ve Galano L., (2012). "Seismic Analysis of Historic Masonry Buildings: The Vicarious Palace In Pescia (Italy)", Buildings, 2: 63-82.
- [40] Ocakcan, T. K., (2013). 18. Yüzyıl Osmanlı Kütüphanelerinin Yapım Teknikleri ve I. Mahmut Kütüphanesi Restorasyon Uygulaması Üzerine Bir Değerlendirme, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [41] Lourenço, P. B., (2013). "Computational Strategies For Masonry Structures: Multi-Scale Modelling, Dynamics, Engineering Applications And Other Challenges", Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería, 25-28 Haziran 2013, Bilbao, İspanya.
- [42] Çavuş, M., (2013). "Tarihi Niksar Kulak Kümbetinin Deprem Altındaki Sismik Davranışının Değerlendirilmesi" Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 7: 80-90.
- [43] Erköseoğlu, G., (2014). Performance Evaluatiion of Confined Masonry Walls, Master of Science Thesis, The Graduate School of Natural And Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara.
- [44] Demirkan, D. S., (2014). Yiğma Yapılarda Derz Kalınlığı ve Duvar Örmek Tekniğinin Yapıya Etkisinin Anizotrop Bir Model Üzerinde İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [45] Çobanoğlu, A. B., (2014). Investigation of Material Properties For The Turkish Masonry Buildings , Master of Science Thesis, Middle East Technical University The Graduate School of Natural And Applied Sciences, Ankara.

- [46] Çakıroğlu, M. G., (2014). Yığma Yapıların Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [47] Saygılı, Ö., (2014). Use of Distinct Element Method In The Assessment of Earthquake Behavior of Masonry Structures, Doctor of Philosophy Thesis, Boğaziçi University, İstanbul.
- [48] Di Fabio, F., Gregori, A. ve Totani, M., (2015). "Experimental And Numerical Investigations on Historical Masonry Wall Specimens Tested in Shearcompression Configuration," Engineering Structures and Technologies, 7: 177–188.
- [49] Ekinci, S., (2015). I. Ulusal Mimarlık Dönemine Ait Yapıların Deneysel Ve Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Ve Afet Yönetimi Enstitüsü, İstanbul.
- [50] Çal, G. ve Şahin, A., (2015). "Ortaköy Büyük Mecidiye Camii'nin Farklı Deprem Etkileri Altında Sismik Davranışının Değerlendirilmesi" 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, Ekim 2015, Erzurum.
- [51] Çal, G., (2015). Ortaköy Büyük Mecidiye Camii'nin Deprem Etkisi Altında Yapısal Davranışının Değerlendirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [52] Tetik, T., (2015). Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansı ve Güçlendirme Teknikleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü, İstanbul.
- [53] Hökelekli, E., (2015). Manisa Hafsa Sultan Camii Deprem Davranışının Orerasyonel Modal Analiz Yöntemiyle İncelenmesi, Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- [54] Pantò, B., Cannizzaro, F., Caddemi, S. ve Caliò, I., (2016). "3D Macro-Element Modelling Approach For Seismic Assessment of Historical Masonry Churches" Advances in Engineering Software, 97: 40-59.
- [55] Aslan, A. ve Şahin, A., (2016). "Süleymaniye Camii'nin Farklı Deprem Kayıtları Altında Davranışının İncelenmesi" Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu (DAAYS'16), 2-4 Mart 2016, Karabük.
- [56] Süleymaniye Camii, www.suleymaniyecamii.org, 12 Aralık 2015.
- [57] Eruyar, S., Süleymaniye Külliyesi'nin Tarihsel Süreçteki Değişimini, www.kulturturizm.gov.tr/Eklenti/31198,secileruyarpdf.pdf, 10 mart 2016.
- [58] T.C. Vakıflar Genel Müdürlüğü, Ocak 2007, Süleymaniye Camii Rölöveleri, İstanbul.

- [59] Google Maps, maps.google.com, 17 Ocak 2016.
- [60] Kubbe-i Mina, Youtube, Süleymaniye Camii, <https://youtu.be/9H-AGb2U27A>, 12 Aralık 2015.
- [61] Çılı, F., Çelik, O. C. ve Sesigür, H., (2011). "Süleymaniye Camii Taşıyıcı Sisteminin Onarımı ve Güçlendirme Çalışmaları", Vakıf Restorasyon Yıllığı, 3.
- [62] Ülgen, A. S., (1940-1945), İstanbul Süleymaniye Camii, www.mimarsinanerleri.com, 18 Ocak 2016.
- [63] Lourenço, P. B., (1994). Analysis of Masonry Structures With Interface Elements, Delft, Delft University of Technology Faculty of Civil Engineering, Holland, Delf.
- [64] Erkek, H., Calayır, Y., Sayın, E., Karaton, M., (2013). "Tarihi Malatya Ulu Camisinin Sismik Davranışı", 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Mustafa Kemal Üniversitesi, 25-27 Eylül 2013, Hatay.
- [65] Mutlu, Ö., (2015). Bursa Ulu Camii ve Yeşil Camii'nin Dinamik Davranışlarının Değerlendirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [66] AutoCAD, Design Software,, Autodesk, Inc., 2015.
- [67] CSI Knowledge Base, www.wiki.csiamerica.com, 06 Şubat 2016,
- [68] Bilgin, H., (2006). "Mimar Sinan Yapılarında Kubbeli Örtü Sistemlerinin Yapısal Analizi" S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg., 21: 3-4.
- [69] University of California, PEER Ground Motion Database, ngawest2.berkeley.edu, 2015.
- [70] Seismosoft Ltd., SeismoSignal, Pavia, Italy, 2013.
- [71] Şahin, A., Şisman, R., Askan, A. ve Hori, M., (2016). "Development of Integrated Earthquake Simulation System for Istanbul", Earth Planet and Space, (Hakem Değerlendirmesinde).
- [72] Şişman, R., (2015). A System Development For Large Scale Soil Model Generation And Earthquake Hazard Simulation, Msc. Thesis, Yıldız Technical University Department of Civil Engineering Program of Structural Engineering, İstanbul.
- [73] Yorulmaz, M., Convenor, F. ve Vintzeleou, E., (1984). Design and Construction of Stone and Brick Masonry Buildings Building Construction Under Seismic Conditions in The Balkan Region Project, Volume 3, United Nations Development Programme, Viyana.

- [74] Adobe Systems, Adobe Photoshop CC, digital imaging software, California, U.S., 2016.
- [75] Computer and Structures Inc., SAP2000, Structural Analysis Program, Berkeley, California, USA, 2015.
- [76] Microsoft Corporation, Visio, Flowchart Software, Redmond, Washington, USA, 2016.
- [77] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, (2007). DBYBHY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Ankara.
- [78] Çamlıbel, N., (1998). Sinan Mimarlığında Yapı Strüktürünün Analitik İncelenmesi, YTÜ Basım-Yayın Merkezi, İstanbul.
- [79] Selahiye, A., (1994). A Study on the Identification of Natural Vibration Frequencies of the Süleymaniye Mosque, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [80] Wikipedia, tr.wikipedia.org, 2016.
- [81] Çılı, F. ve Sesigür, H., (2007). "Tarihi Yapıların Onarımı/Güçlendirilmesi" TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Seminer Notları, 2007.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ayhan ASLAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.03.1989 AYDIN
Yabancı Dili : İngilizce (Upper Intermediate), Japonca (Başlangıç)
E-posta : Ayhan-Aslan@yandex.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Namık Kemal Üniversitesi	2012
Lise	Sayısal	Orhan Cemal Fersoy Lisesi	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013-2014	Mabel İnşaat	İnşaat Mühendisi
2012-2013	Star Alüminyum Paz. Ltd. Şti. (A Blok), Mutlusan San. Ve Tic. Ltd. Şti. (B Blok)	Saha Mühendisi

YAYINLARI

Makale

1. ASLAN, A. ve ŞAHİN, A., (2016). "Seismic Behaviour Evaluation of Suleymaniye Mosque Under Different Earthquake Records", Disaster Science and Engineering, (Basım aşamasında).
2. ASLAN, A. ve ŞAHİN, A., (2016). "Karmaşık Geometriye Sahip Tarihi Yapıların Modellenmesi İçin Bir Yaklaşım – Süleymaniye Camii Örneği", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, (Hakem Değerlendirmesinde).

Bildiri

1. Aslan, A. ve Şahin, A., (2016). "Süleymaniye Camii'nin Farklı Deprem Kayıtları Altında Davranışının İncelenmesi" Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu (DAAYS'16), 2-4 Mart 2016, Karabük.